Р. Трейстер Дж. Мейо

44 ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

для любительских электронных устройств





Р. Трейстер Дж. Мейо

44 ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ для любительских электронных устройств

Перевод с английского
канд. техн. наук Е.Ф. СЕРГИЕНКО



МОСКВА
ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ
1990

ББК 32.85
Т66
УДК 621.311.6

Трейстер Р., Мейо Дж.
Т66 44 источника электропитания для любительских электронных устройств: Пер. с англ. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 288 с.: ил.

ISBN 5-283-02500-4

В популярной форме изложены основные сведения об источниках вторичного электропитания радиоэлектронной аппаратуры, принципах их работы и методах построения. Приведено большое количество практических схем источников электропитания.

Для любителей-конструкторов, занимающихся бытовой электроникой и электротехникой.

Т $\frac{2202060000\text{-}075}{051(01)\text{-}90}$ 71-90 ББК 32.85

44 POWER SUPPLIES FOR YOUR ELECTRONIC PROJECTS
ROBERT J. TRAISTER, JONATHAN L. MAYO
New York, TAB Books Inc., 1987

Производственное издание

ТРЕЙСТЕР РОБЕРТ, МЕЙО ДЖОНАТАН

44 источника электропитания для любительских электронных устройств

Заведующий редакцией *А. Б. Желдыбин*
Редактор издательства *Ю. Ф. Архипцев*
Художник переплета *Т. Н. Хромова*
Художественные редакторы *Т. А. Дворецкова, А. А. Белоус*
Технический редактор *О. Д. Кузнецова*
Корректор *З. Б. Драновская*

ИБ № 3248

Сдано в набор 19.12.89. Подписано в печать 05.06.90. Формат 84×108 1/32. Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 15,12. Усл. кр.-отт. 15,33. Уч.-изд. л. 15,73. Тираж 250 000 экз. Заказ № 462. Цена 3 р.

Энергоатомиздат. 113114 Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

Владимирская типография Госкомпечати СССР
600000, г. Владимир, Октябрьский проспект, д. 7

ISBN 5-283-02500-4 (рус.)
ISBN 0-8306-2922-X (англ.)

Предисловие к русскому изданию

В предлагаемой книге содержатся сведения об источниках вторичного электропитания (ИВЭП) радиоэлектронной аппаратуры, принципах их работы и построения, а также приведено большое количество практических схем.

Материал книги изложен в доступной для начинающих радиолюбителей форме и не требует для своего понимания сколько-нибудь значительной предварительной подготовки. Прочитав первые три главы, читатель познакомится с основными физическими величинами, характеризующими работу элекрических цепей и источников электрической энергии, получит наглядное представление о различиях между переменным и постоянным током и способах преобразования переменного тока в постоянный, найдет информацию о применяемых при построении компонентах: диодах, стабилитронах, трансформаторах, конденсаторах и т. п. После этого читатель без труда поймет принципы построения стабилизированных ИВЭП с непрерывным способом регулирования, которые достаточно подробно приведены в гл. 4.

Рассмотренные в последней главе практические схемы представляют собой в основном довольно простые источники постоянного напряжения, работающие от сети переменного тока и содержащие сетевые трансформаторы. Здесь следует сказать, что наиболее распространенные в США бытовые сети переменного тока имеют частоту 60 Гц и действующее значение напряжения 115 В, тогда как в СССР значения этих величин составляют соответственно 50 Гц и 220 В (редко 127 В). Поэтому при выборе трансформатора для того или иного источника следует ориентироваться на значение выходного напряжения трансформатора, указанного в описании каждого из источников. Точно так же необходимо ориентироваться на аналоги отечественных

компонентов, используя соответствующую справочную литературу.

К сожалению, в книге практически не нашли отражения вопросы построения ИВЭП с импульсным способом регулирования, в частности сетевые ИВЭП с бестрансформаторным входом. Имеется краткое описание трех устройств подобного типа (схемы 24, 25 и 44), хотя они в настоящее время находят все более широкое распространение, так как обладают рядом более высоких показателей, чем ИВЭП с непрерывным регулированием. Однако следует сказать, что в целом ИВЭП с импульсным регулированием представляют собой гораздо более сложные устройства и создание их требует наличия определенных навыков проектирования, в частности непременного понимания материала, изложенного в настоящей книге. Поэтому представляется, что книга будет полезна читателям, пожелавшим непрофессионально заниматься электроникой.

Е. Сергиенко

От издательства

Часть дохода, полученного от продажи этой книги, перечислена в Фонд Милосердия.

Указатель зарубежных изделий электронной техники и их отечественных аналогов

Зарубежный тип	Класс изделия	Отечественный аналог
ECG105	Транзистор	ГТ701А
ECG124	Транзистор	ГТ404Ж
ECG129	То же	ГТ703Д
ECG130	»	ГТ705Г
LM117	ИМС стабилизатора напряжения	Кр142ЕН12А
LM317	То же	Кр142ЕН12Б
LM309K	»	К142ЕН5В
LM325N	ИМС двухполярного стабилизатора напряжения	Кр142ЕН15А
LM326N	То же	Кр142ЕН15А
LM723	ИМС стабилизатора напряжения	Кр142ЕН14
SK3003	Маломощный германиевый транзистор	ГТ125Б
1N4005	Диод	КД209Б, КД226Г
2N399	Мощный германиевый транзистор	П216А
2N400	То же	П217А
2N401	»	П217А
2N402	Маломощный германиевый транзистор	ГТ125Б
2N403	То же	ГТ125Б
2N3792	Мощный кремниевый транзистор	КТ818ГМ
2N3997	То же	КТ908А, КТ917А
2N5005	»	КТ855Б
2N5153	»	КТ855Б
7805	ИМС стабилизатора напряжения	К142ЕН5В
7812	То же	К142ЕН8Д
7815	»	К142ЕН8
7905	ИМС стабилизатора напряжения отрицательной полярности	—
7912	То же	—
7915	»	—
ECG184	Транзистор	КТ805Б

Введение

Часто бывает так, что источник электропитания является первой электронной схемой, которую вы собираете. С годами эта первая робкая попытка электронного проектирования приводит многих к любительскому увлечению электроникой и даже к выбору профессии разработчика электронной аппаратуры. К сожалению, некоторые специалисты, даже высококвалифицированные, считают работу источников электропитания слишком простой и недостойной их внимания. Поэтому многие образованные в других отношениях разработчики электронной аппаратуры знают об источниках электропитания немногим более, чем об основах их работы.

Настоящая книга является попыткой провести читателя от основных понятий об электрическом токе, электронных компонентах и цепях к пониманию работы достаточно сложных и, несомненно, необычных источников электропитания. Здесь вы найдете разумное сочетание теоретических положений и их практических применений. Однако недостаточно просто будет понять принцип действия источников питания. Более полное представление об их работе, которое может стать хорошей основой для дальнейших занятий электроникой, вы получите только тогда, когда смонтируете необходимые схемы, проверите и произведете их настройку.

Некоторые из представленных здесь электронных схем и устройств могут быть вам знакомы; другие, хотя и достаточно простые, применялись четыре десятилетия тому назад, а в настоящее время совсем забыты.

Терминология, используемая в книге для объяснения работы источников электропитания, будет понятна новичку и опытному специалисту. Материал изложен в последовательности, создающей наиболее благоприятные условия для его изучения. Рассмотренные устройства сгруппированы по категориям в соответствии с основными функциональными признаками. Внутри категорий они расположены в логическом порядке от простейших схем к более сложным. Начните с первой главы, вникните в ее содержание, и вы станете на ты с теорией, прежде чем приступите к разработке схем.

Глава 1

ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ С ВЫХОДОМ НА ПОСТОЯННОМ ТОКЕ

Источником электропитания (или просто питания) с выходом иа постоянном токе можио иазвать любое устройство (компонеит, прибор, сложную схему), если в электрической цепи, подключенной к внешним выводам (полюсам) этого устройства, электрический ток протекает в одном направлеиии (постояиный ток). К иим относятся специальные генераторы, аккумуляторные батареи или сложные электронные схемы, в основе действия которых лежит переменный ток.

Источники питаиия с выходом иа постоянном или перемениом токе обеспечивают работу различной электрической и электроиной аппаратуры. В настоящее время в большей части электрониых устройств используется энергия источииков постоянного тока. К иим относятся транзисторные цепи, интегральные схемы и миогие другие электронные устройства. Некоторые типы электрических двигателей приводятся в действие переменным током, тогда как другие работают нормально только на постояниом токе. Ряд устройств не критичны к виду потребляемой эиергии и одииаково эффективно действуют и на перемениом, и на постояииом токе. Это, например, лампы иакаливания, различные иагревательные приборы, в том числе нити накала электронных ламп.

Может показаться, что ваша стереосистема, радиоприемник и магнитофои работают на переменном токе, так как они подсоединены шнуром питания к сетевой розетке, где действует перемениый ток. Однако все перечисленные устройства состоят в основиом из электронных схем, иормально функционирующих только при питании постоянным током. Здесь сеть перемеиного тока является первичным

источником электропитания, энергия которого преобразуется в постоянный ток. К счастью, намного легче преобразовать переменный ток в постоянный, чем наоборот.

Напряжение

Термином «напряжение» обозначают разность электрических потенциалов между двумя точками электрической цепи. Некоторые неправильно полагают, что напряжение — это нечто такое, что движется в цепи. Однако это не так. Напряжение — это та сила, под действнем которой в электрической цепн движутся электрические заряды, т.е. протекает электрический ток. Напряжение можно сравннть с ударом бейсбольной биты по мячу. Полет мяча сравнмм с протеканием тока, но удар биты — это потенциальная сила, вызвавшая движение мяча. Ток и напряжение взаимосвязаны, так как важна не только разность потенцналов сама по себе, а важен и электрический ток, обусловленный этой разностью потенциалов. Поэтому при описании работы электрических цепей ток и напряжение, как правило, фигурируют вместе.

Можно выделить две группы источников электрической энергии: источники напряжения и источники тока. Напряжение между выходными полюсами источника напряжения не зависит или слабо зависит от тока, отдаваемого источником во внешнюю цепь (нагрузку). В источниках тока, напротнв, выходной ток почти не зависит от напряжения на его полюсах, которое определяется нагрузкой.

Основной единицей измерения разности потенциалов является вольт (В). Различают переменное и постоянное напряжения. Аккумуляторная батарея — это типичный источннк постоянного напряжения, промышленная сеть — источннк переменного напряжения.

На практнке часто применяются производные от основной единицы нзмерения напряжения. Единица измерення милливольт (мВ) используется для обозначения разности потенциалов, эквивалентной 1/1000 В. Микровольт (мкВ) составляет 1/1000 мВ илн 1/1000 000 В. Один киловольт (кВ) равен 1000 В, а один мегавольт (МВ) — 1 000 000 В.

Для пнтания электронных схем применяются преимущественно источники постоянного напряжения. Напряженне измеряется между положительным и отрицательным выводами (полюсами) источника. Для того чтобы образовать замкнутую электрическую цепь, в которой протекает по-

стоянный ток, полюсы источника питания должны быть соединены с выводами схемы (нагрузки), потребляющей энергию от источника, или с выводами измерительного прибора. В нагрузке, подключенной к источнику питания, ток течет в направлении от положительного потенциала к отрицательному.

В цепях постоянного напряжения полярность полюсов фиксирована. Один из полюсов всегда положителен, другой отрицателен. В источниках переменного напряжения полярность постоянно изменяется. В первой половине цикла один из полюсов имеет положительную полярность, а другой — отрицательную. Во второй половине — полярности напряжений противоположны. Быстрота смены полярности в цепях переменного тока измеряется в герцах (Гц). В наших жилищах сетевое напряжение является переменным, и в течение одной секунды происходит 60 циклов смены полярности напряжения. Говоят, что частота изменения напряжения сети составляет 60 Гц*.

Ток

Ампер (А) — это основная единица измерения силы тока. Термин «ток» абсолютно точен, поскольку в электрической цепи, подключенной к источнику питания, существует направленное движение электрических зарядов (электронов) под действием сил электрического поля. Точен также термин «электрическая цепь», так как для движения зарядов необходимо иметь замкнутый электрический контур (канал) между положительным и отрицательным полюсами источника питания. Если контур оборван, то движение зарядов прекращается и ток отсутствует.

За положительное направление тока в электротехнике условно принимается направление движения положительных зарядов, хотя реальными носителями заряда могут быть электроны. Значение тока определяется количеством заряда, проходящего через цепь в единицу времени. При токе 1 А за одну секунду через цепь проходит примерно 10^{18} единичных зарядов, равных заряду электрона. В практических измерениях количество зарядов не фиксируется, а значение тока выражается в амперах или производных от этой основной единицы.

Поток положительных зарядов в цепи, подключенной к источнику питания, всегда направлен от положительного

* В СССР промышленная сеть имеет частоту 50 Гц. — *Прим. пер.*

вывода к отрицательному. В цепях постоянного тока направление движения их фиксировано. Однако в цепях переменного тока направление движения заряда постоянно изменяется с частотой, обусловленной частотой источника переменного напряжения.

При измерении токов, так же как и при измерении напряжений, существуют производные основной единицы измерения тока — ампера. Один миллиампер (мА) эквивалентен 1/1000 А и часто используется при описании полупроводниковых устройств. Микроампер (мкА) равен 1/1 000 000 А или 1/1000 мА и применяется для описания токовых параметров в маломощных электронных цепях.

В то время как измерение напряжения производится подключением выводов измерительного прибора к полюсам источника напряжения, измерение тока осуществляется путем включения амперметра или миллиамперметра последовательно в цепь протекания тока.

Для того чтобы понять различия между напряжением и током, рассматривайте ток как некоторое материальное тело, а напряжение как силу, действующую на него. Если вы бросите камень в цепь, то сила, с которой он брошен, может быть сравнима с напряжением. Камень же можно уподобить току. Очевидно, что результат удара будет зависеть как от массы камня, так и от силы, с которой он брошен. Применение этой аналогии к электрической схеме приводит к выводу, что результат воздействия электрического тока будет зависеть как от силы тока, так и от напряжения, вызывающего этот ток.

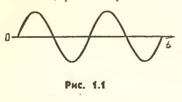


Рис. 1.1

Сила или напряжение переменного тока периодически изменяется. Рис. 1.1 иллюстрирует форму стандартной волны переменного напряжения, которую можно увидеть на экране осциллографа, подключенного к сетевой розетке в вашем доме. Вначале напряжение равно нулю, затем его значение увеличивается, стремясь к максимальному, называемому амплитудным значением. На этом завершается первая половина цикла переменного напряжения. Обратите внимание, что на этом участке изменяющееся напряжение имеет положительную полярность. После завершения первой половины волны кривая проходит через нулевую отметку и образует зеркальное отражение прежней

формы волны, имеющее отрицательную полярность. После достижения минимального значения напряжения вновь возвращается к нулю. В этой точке завершается полная волна переменного напряжения. В бытовой сети переменного тока одна форма волны, или один период, завершается через каждую 1/60 с*. Это значит, что в течение 1 с происходит 60 полных циклов. Таким образом, мы определили обозначение переменного тока в бытовых сетях США как происходящее 60 периодов в секунду, или с частотой 60 Гц.

Бытовые сети переменного тока преимущественно имеют номинальное значение напряжения, равное 115 В. Но обратите внимание на то, что значение напряжения в начале периода равно нулю, затем увеличивается до положительного максимума в 150 В, после чего уменьшается до нуля и, прежде чем завершится период, достигает максимального отрицательного значения 150 В. 115 В — это действующее значение переменного напряжения. Оно дает такой же нагревательный (тепловой) эффект, как и 115 В постоянного тока. Значение 115 В часто называют среднеквадратичным значением переменного напряжения*. Оно составляет примерно 70 % амплитудного значения переменного напряжения. Форма волны переменного тока, вырабатываемая местной электрической кампанией, называется синусоидальной. Это означает, что форма волны, образуемая в одной половине периода, является зеркальным отображением волны, образуемой во втором полупериоде. Различные другие типы волн переменного тока могут формироваться разнообразными электронными схемами, но они не относятся к теме излагаемого здесь материала.

Назначение источников питания с выходом на постоянном токе состоит в преобразовании переменного напряжения сети в постоянное. Последнее может быть определено как напряжение, имеющее одну полярность. Переменное напряжение периодически изменяет полярность.

Хотя преобразование переменного напряжения в постоянное чрезвычайно просто реализуется практически, процессы, происходящие при таком преобразовании, достаточно сложны. Для описания этих процессов используется термин «выпрямление», а электронные устройства,

---

* В Советском Союзе бытовые сети имеют частоту 50 Гц и действующее значение напряжения 220 (редко 127) В. — *Прим. пер.*

выполняющие эти функции, принято называть выпрямителями.

На рис. 1.2 показана синусоидальная форма волны после выпрямления. Положительная полуволна проходит беспрепятственно, а отрицательная, показанная на рисунке пунктирной линией, блокирована. Позже мы глубже рассмотрим детали процесса выпрямления. Сейчас же достаточно знать, что выпрямление предполагает наличие напряжения и тока только одной полярности.

Рис. 1.2

Рис. 1.3

Форма выпрямленного напряжения полностью совпадает с положительной полуволной исходного переменного напряжения. Результатом выпрямления является постоянное напряжение в том смысле, что оно имеет только положительную полярность относительно нулевой отметки. Если бы мы использовали только отрицательную полуволну исходного напряжения, то получили бы выпрямленное напряжение отрицательной полярности.

Выпрямленное напряжение не является постоянным в полном смысле этого слова. Источники постоянного напряжения, используемые для питания электронных схем, обеспечивают не только постоянную полярность выходного напряжения, но и постоянное его значение. Здесь же имеем дело с однонаправленным пульсирующим напряжением, значение которого изменяется от 0 до 150 В.

Для получения постоянной составляющей выпрямленного напряжения в чистом виде необходимо применение фильтрующих цепей, обеспечивающих сглаживание выпрямленного напряжения. После фильтрации она может быть равна амплитудному значению переменного напряжения или 150 В. Реальное значение напряжения зависит как от типа фильтрующей цепи, так и от потребляемого нагрузкой тока. Рассматриваемое напряжение переменного тока с эффективным значением 115 В после выпрямления и фильтрации преобразуется в постоянное, имеющее значение примерно 150 В. Рисунок 1.3 демонстрирует графически идеальный постоянный ток.

В описанном процессе выпрямления использована только одна полуволна входного напряжения. Оставшаяся часть (вторая полуволна) блокирована. Такой процесс называется однополупериодным выпрямлением. Во многих случаях он неприемлем из-за жестких требований, предъявляемых к фильтрам, обеспечивающим выход на постоянном токе. Двухполупериодные выпрямители легко реализуются и используют как положительную, так и отрицательную полуволны переменного синусоидального напряжения. Здесь отрицательная полуволна электронным путем преобразуется в положительную. Форма выходного напряжения двухполупериодного выпрямителя показана на рис. 1.4, *б*. Обратите внимание, что количество пульсаций здесь вдвое больше, чем в однополупериодном выпрямителе (рис. 1.4, *а*). Обозначенный на рисунке временно́й интервал по-прежнему составляет 1/60 с. Здесь напряжение является пульсирующим, но количество пульсаций вдвое больше, чем было раньше. Вследствие этого частота пульсаций в в двухполупериодном выпрямителе в 2 раза больше, чем в однополупериодной схеме. Более высокая частота пульсаций легче фильтруется в постоянный ток.

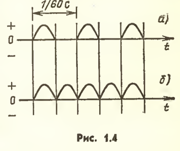


Рис. 1.4

Выше были представлены общие рассуждения о процессе выпрямления и некоторые технические вопросы были упрощены для лучшего понимания материала. Если вы продолжите чтение книги, то работа электронных схем, используемых для выполнения выпрямления и других процессов, будет становиться все более понятной.

Существует множество различных типов источников энергии постоянного тока, одни из которых могут отдавать меньший или бо́льший ток, другие предназначены для получения высоких напряжений при малых и средних значениях выходного тока. Одни источники могут быть очень сложными, другие — чрезвычайно простыми. Требования, предъявляемые к источнику питания, будут определять и степень его сложности, и параметры используемых в каждом случае компонентов.

Выводы

Источники энергии с выходом на постоянном токе используются в различных областях электроники. Обычно постоянный ток получают выпрямлением переменного тока, который является основным источником электрической энергии на всей территории США. К другим источникам постоянного тока относятся аккумуляторные батареи, элементы солнечных батарей и электромеханические генераторы. Преобразование переменного напряжения в постоянное необходимо для получения постоянного стабильного напряжения, имеющего определенную полярность относительно нуля (земли). Процесс выпрямления — это один из многих шагов подобного преобразования, которые выполняются различными компонентами.

Глава 2

ВЫПРЯМИТЕЛИ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

В любых сложных устройствах электропитания можно выделить основные узлы, выполняющие определенные функции и так или иначе входящие в большинство источников питания. Первичным источником часто является промышленная сеть переменного тока. Эффективное напряжение сети переменного тока в зависимости от местности составляет 120 или 240 В. Однако оно непостоянно и может иметь значения, например, 115, 117 или 120 В. Эти колебания напряжения определяются стандартами электрических сетей США и в большинстве штатов лежат между 110 и 120 В.

Обычно источник электропитания постоянного тока связан с промышленной сетью через сетевой трансформатор. Переменное напряжение на выходе трансформатора зависит от соотношения витков первичной и вторичной (выходной) обмоток трансформатора и может изменяться от единиц до тысяч вольт. Это выходное напряжение, преобразуемое рядом электронных схем, в конечном итоге определяет значение выходного напряжения источника постоянного напряжения.

Выпрямление

Выпрямление определяется как процесс преобразования переменного напряжения в пульсирующее однонаправленное или постоянное напряжение. Для целей выпрямления хорошо подходит плоскостной диод с *p-n* переходом, так как он является хорошим проводником тока в одном направлении (в направлении прямого смещения *p-n* перехода) и обладает очень большим сопротивлением для токов противоположного направления (направления обратного смещения *p-n* перехода).

Применение полупроводниковых диодов в выпрямителях источников электропитания электронного оборудования постоянно возрастает. Причин тому несколько. Это, во-первых, отсутствие по сравнению с ламповыми выпрямителями нитей накала и связанного с этим расхода энергии. Отсутствие нитей накала обусловливает практически мгновенную готовность полупроводниковых выпрямителей к работе. Во-вторых, это малое падение напряжения на диоде в прямом направлении и слабая зависимость его от прямого тока. Небольшое прямое напряжение на диоде обусловливает малые потери мощности в нем и обычно небольшой размер самого выпрямителя. Поэтому полупроводниковые выпрямители незаменимы в устройствах электропитания портативного и миниатюрного электронного оборудования, где масса и объем являются определяющими характеристиками.

Полупроводниковые материалы, образующие *p-n* переходы, чрезвычайно широко используются в производстве электронных схем. Различные типы диодов образуются за счет изменений в концентрациях примесей, вносимых в полупроводниковые кристаллы, и размеров кристаллов. Существуют диоды, используемые в маломощных (сигнальных) цепях, выпрямительные диоды, стабилитроны, стабисторы, варакторы и другие типы диодов.

Полупроводниковые диоды

Наглядное, хотя и очень ограниченное, представление внешнего вида диодов различного назначения дает рис. 2.1. Однако вольт-амперные характеристики диодов, представляющие собой графическую зависимость тока диодов от напряжения на нем, очень похожи для различных диодов.

Отличаются они друг от друга, в первую очередь, значениями токов и напряжений.

На рис. 2.2 показана типичная вольт-амперная характеристика полупроводникового диода. На ней можно выделить две ветви, соответствующие смещению *p-n* перехода в различных направлениях, которое определяется разнос-

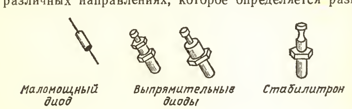


Рис. 2.1

тью потенциалов между анодом (*p*-слой *p-n* перехода) и катодом (*n*-слой *p-n* перехода). При прямом смещении анод положителен по отношению к катоду. В обратносмещенном переходе полярность напряжения между анодом и катодом отрицательна. Увеличение прямого смещения приводит к росту прямого тока через диод. Увеличение прямого тока, если оно не ограничивается внешними цепями, возможно до тех пор, пока мощность, выделяющаяся в диоде, не превысит максимально допустимого для данного диода значения. При малых прямых смещениях через диод протекает сравнительно небольшой прямой ток до тех пор, пока напряжение на переходе не превысит пороговое значение, определяемое контактной разностью потенциалов между слоями *p-n* перехода, создающей потенциальный барьер, препятствующий протеканию тока в прямом направлении. Пороговые напряжения различных диодов несколько отличаются друг от друга и обычно составляют десятые доли вольта. Увеличение обратного смещения приводит к незначительному росту обратного тока до тех пор, пока не будет достигнуто напряжение пробоя *p-n* перехода. Дальнейшее увеличение обратного сме-

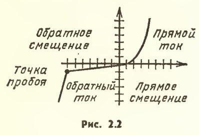


Рис. 2.2

щения приводит к резкому возрастанию обратного тока. Таким образом, если не достигается режим пробоя *p-n* перехода, отношение прямого тока к обратному очень велико; например, это отношение определяется как отношение миллиампера к микроамперу или ампера к миллиамперу. Температурные изменения вызывают изменения вольт-амперной характеристики, такие, как, например, уменьшение токов при заданном напряжении в любой точке, изменение обратного тока, напряжения пробоя и т. п.

Технические требования к диодам. Существует множество технических требований, перечисленных в различных руководствах и справочниках по применению полупроводниковых приборов. Описания различных типов диодов и их важнейших характеристик необходимы для выявления неисправностей и конструирования электронных устройств.

Выпрямительные диоды. Выпрямительные диоды используются преимущественно в устройствах электропитания. Они выполняются обычно на основе кремния. Кремниевые диоды обладают более высокой надежностью и лучшими характеристиками по сравнению с диодами, изготовленными из других полупроводниковых материалов. Кремний позволяет увеличить прямые и уменьшить обратные токи диодов и обеспечивает возможность работы при более высоких температурах.

Ниже перечислены основные параметры выпрямительных диодов.

Максимально допустимое обратное напряжение ($U_{обр}$) — максимальное значение постоянного обратного напряжения на диоде, которое не вызывает пробой перехода.

Среднее прямое напряжение ($U_{пр}$) — среднее значение прямого напряжения на диоде при заданном прямом токе и определенной температуре, обычно определяемое для выпрямленного переменного тока частотой 60 Гц.

Средний выпрямленный прямой ток ($I_{ср}$) — среднее значение прямого тока при определенной температуре в выпрямителе при частоте сети 60 Гц и работе на резистивную нагрузку; рабочий температурный диапазон определяет ряды приборов, типичное его значение от —65 до +125 °C.

Средний обратный ток ($I_{обр}$) — среднее значение обратного тока при заданной температуре в выпрямителе при частоте сети 60 Гц.

Импульсный прямой ток ($I_{имп}$) — максимальное мгновенное значение прямого тока, определяемое для заданного числа периодов работы выпрямителя или их части, например полупериодов тока частотой 60 Гц.

Стабилитроны. По сравнению с другими типами диодов стабилитроны уникальны тем, что основным режимом их работы является область пробоя *p-n* перехода. Эти приборы используются в качестве параметрических стабилизаторов напряжения, ограничителей уровня, согласующих устройств и выполняют ряд других функций в цифровых системах.

Основные параметры стабилитронов:

номинальное напряжение стабилизации ($U_{ст}$) — значение обратного напряжения, при котором происходит пробой *p-n* перехода; также задаются максимальное и минимальное значения этого напряжения, определяющие границы обратных напряжений, в которых гарантированно наступает пробой перехода;

A K A K
а) б)

Рис. 2.3

максимальная мощность стабилитрона ($P_{макс}$) — это та максимальная мощность, которая может выделяться в приборе; так как напряжение стабилизации постоянно, то максимальная мощность определяет максимальный ток стабилитрона ($I_{макс}$).

Графические изображения диодов и стабилитронов в электронных схемах показаны на рис. 2.3, *а*, *б*. Прямой ток протекает в направлении стрелки, образованной в графическом символе. В режиме пробоя направление тока противоположно стрелке.

Диодный выпрямитель

Рисунок 2.4 представляет собой схематическое изображение узла источника питания, преобразующего переменное входное напряжение в постоянное выходное напряжение и названного положительным источником питания с фильтром. Хотя приведенный источник питания обеспечивает на выходе однонаправленный положительный ток, он может также содержать цепи, обеспечивающие и отрицательное выходное напряжение. В сложных электронных устройствах все напряжения измеряются относительно общей (нулевой) шины питания, которая, как правило, соеди-

няется электрически с корпусом, называется часто «землей» устройства. Графически эта шина изображается в схемах чертой, как это показано на рис. 2.4.

Наверное, возникает вопрос, почему необходимо осуществлять преобразование переменного напряжения в по-

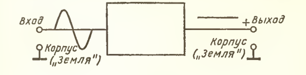


Рис. 2.4

стоянное. Ответ прост — для нормальной работы подавляющего большинства электронных схем необходимо наличие источников постоянного напряжения, так как используемые в них приборы являются однонаправленными. Полупроводниковый диод хорошо проводит ток в прямом направлении и плохо в обратном. И в транзисторах, и в электронных лампах токи могут протекать только в одном направлении. Поэтому питание их переменным напряжением неприемлемо.

Прежде чем говорить о том, каким образом переменное напряжение на входе источника питания преобразуется в постоянное на его выходе, необходимо, применительно к источникам питания уяснить термин «нагрузка». Нагрузкой является ток, отдаваемый источником питания одному или нескольким устройствам — потребителям энергии, подключенным к выходу источника питания. Разумеется, потребители энергии требуют определенного напряжения и тока, которые и обеспечиваются источником питания. Нагрузкой может быть простой резистор, одна или несколько электронных схем, состоящих из резисторов, конденсаторов, индуктивностей и активных приборов.

Однополупериодный выпрямитель

На рис. 2.5 полупроводниковый диод работает как однополупериодный выпрямитель. Однополупериодный выпрямитель — это такой выпрямитель, в котором для получения выходного напряжения используется одна полуволна входного напряжения.

Наведенное на вторичной обмотке трансформатора *L2*

напряжение имеет такой же вид, как и входное. Точки у обмоток трансформатора TV обозначают одноименные выводы обмоток: в любой момент времени полярности напряжений на одноименных выводах обмоток относительно их противоположных выводов одинаковы. При положи-

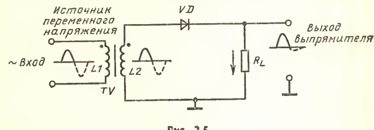


Рис. 2.5

тельной полуволне входного напряжения (непрерывная линия) диод VD находится под прямым смещением и в последовательной цепи, состоящей из обмотки $L2$, диода VD и резистора нагрузки R_L, протекает ток. Обмотка $L2$ играет здесь роль источника напряжения, и ток в ней направлен от конца обмотки к ее началу, обозначенному точкой. Замыкаясь через резистор R_L, ток создает на нем напряжение, определяемое мгновенным значением тока и сопротивлением резистора. Это напряжение положительно относительно вывода резистора, соединенного с корпусом. Следовательно, выходное напряжение выпрямителя также положительно. Сумма выходного напряжения и падений напряжений на диоде и омическом сопротивлении обмотки $L2$ определяет значение напряжения питания выпрямителя. Хотя выходное напряжение почти равно напряжению питания, оно всегда меньше последнего из-за наличия падений напряжений на VD и $L2$, какими бы малыми они ни были.

Когда на входе действует отрицательная полуволна входного напряжения, изображенная на рисунке пунктирной линией, диод VD смещается в обратном направлении и в последовательной цепи протекает небольшой обратный ток диода. Напряжение, обусловленное этим током, изображено на диаграмме в явно преувеличенном виде с тем, чтобы показать, что оно существует. Следует понимать, что хотя здесь рассмотрен один цикл работы выпрямителя, описанные процессы периодически повторяются.

Если изменить полярность включения диода (анод поменять местами с катодом), то выходное напряжение станет отрицательным, так как диод будет смещаться в прямом направлении при отрицательной полуволне входного напряжения. Ток в резисторе при этом изменит направление.

Тот же результат можно получить, если общую точку (землю), подключенную на рис. 2.5 к нижнему выводу резистора R_L, соединить с верхним выводом резистора. Поскольку нижний вывод резистора отрицателен по отношению к верхнему, то выходное напряжение выпрямителя будет отрицательно.

Неисправности однополупериодного выпрямителя проявляются двояко: либо выходное напряжение отсутствует, либо оно очень мало. Причиной отсутствия выходного напряжения могут быть перегорание сетевого предохранителя, обрыв в первичной или вторичной обмотках трансформатора, а также обрывы диода и нагрузки.

Низкий уровень выходного напряжения может быть вызван ухудшением характеристик диода вследствие его старения. Состояние диода можно проверить измерением его сопротивления в прямом и обратном направлениях. Уменьшение выходного напряжения может быть следствием роста прямого сопротивления и уменьшения обратного сопротивления диода.

Необходимо также измерить значение переменного входного напряжения. Если оно почему-либо мало, то выходное напряжение тоже будет небольшим. Аналогичные измерения нужно провести для напряжения на вторичной обмотке трансформатора, так как его уменьшение также приводит к уменьшению напряжения выпрямителя.

Отключив входное напряжение, вы сможете проверить сопротивления элементов. Существуют ли обрывы в первичной и вторичной обмотках трансформатора? Возросло ли прямое или уменьшилось обратное сопротивление диода? Нет ли обрыва между электродами диода? Изменилось ли сопротивление нагрузки? Не имеют ли элементы признаков чрезмерного перегрева? Не изменился ли их цвет? Не показывает ли амперметр, включенный последовательно с нагрузкой, слишком большой ток при подключении входного напряжения?

Выявляя неисправности, вы сможете ответить на все поставленные вопросы. Если вы столкнулись с такой проблемой, определите, является ли причиной неисправности

сам выпрямитель. Может быть, она вызвана изменениями в других цепях, например в фильтрующих элементах источников питания или нагрузки? Устранение этих внешних причин неправильной работы выпрямителя является не менее важной задачей, чем устранение неисправностей в самом выпрямителе.

Двухполупериодный выпрямитель с выводом нулевой точки

Полупроводниковые диоды также удобно использовать в двухполупериодном выпрямителе с выводом нулевой точки, изображенном на рис. 2.6. В этой схеме выходное на-

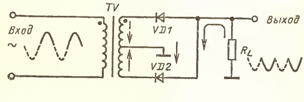


Рис. 2.6

пряжение отрицательно. Однако с таким же успехом можно получить положительное напряжение. Это осуществляется либо изменением точки подключения земли, либо сменой полярности включения диодов.

Входное переменное напряжение трансформируется во вторичную обмотку трансформатора *TV*, которая имеет дополнительный центральный вывод, разделяющий обмотку на две одинаковые полуобмотки. Центральный вывод соединен с корпусом и имеет нулевой потенциал. Поэтому в дальнейшем будем называть этот вывод нулевым.

Пусть полярность входного напряжения такова, что верхний вывод вторичной обмотки положителен относительно нижнего вывода. В то же время нулевой вывод имеет двоякую полярность: положительную по отношению к верхнему выводу вторичной обмотки и отрицательную относительно нижнего вывода этой обмотки. При смене полярности входного напряжения нулевой вывод становится отрицательным относительно верхнего вывода и положительным по отношению к нижнему выводу. Какова же полярность нулевого вывода (корпуса)? Ответ должен содержать фразу «по отношению к» как необходимую часть

предложения. Для каждого из полупериодов входного напряжения один из диодов будет смещен в прямом направлении, а другой — в обратном.

Для пояснения работы выпрямителя будем считать, что первый полупериод входного напряжения отрицателен (первый полупериод, изображенный на рисунке штриховой линией). Следовательно, верхний вывод вторичной обмотки будет иметь отрицательную полярность относительно нижнего. Поэтому диод *VD1* будет смещен в прямом направлении (отрицательное напряжение на его катоде), а диод *VD2* — в обратном (положительное напряжение на его катоде).

Прямое смещение диода *VD1* увеличивает его проводимость и вызывает появление прямого тока, протекающего в направлении от анода к катоду диода (направление тока показано на рисунке пунктирной стрелкой). Ток замыкается последовательно через верхнюю полуобмотку трансформатора сверху вниз, нулевой вывод, резистор R_L в направлении от нижнего вывода к верхнему и диод *VD1*. На резисторе R_L вследствие протекания этого тока создается напряжение, полярность которого отрицательна по отношению к земле. Так происходят процессы в первом отрицательном полупериоде входного напряжения. Во втором полупериоде изменяются на противоположные полярности напряжений на обмотках трансформатора, и нижний вывод вторичной обмотки становится отрицательным по отношению к верхнему и нулевому выводам. Теперь на нижнем выводе вторичной обмотки по отношению к нулевому появляется отрицательное напряжение, а на верхнем — положительное. Поэтому диод *VD1* смещен в обратном направлении, а диод *VD2* — в прямом. Направление тока в выпрямителе на этом этапе работы изображено на рис. 2.6 непрерывными стрелками. Этот ток протекает через нагрузку R_L в том же направлении, что и в первом полупериоде, а далее — через прямосмещенный диод *VD2*, нижнюю полуобмотку в направлении снизу вверх, нулевой вывод и возвращается к нижнему выводу резистора R_L. Вас может удивить, почему ток не протекает от анода одного из диодов через анод к катоду другого диода. Ответ прост. Этот ток протекает. Однако он незначителен, поскольку сопротивление диода, находящегося под обратным смещением, велико. Действие тока обратносмещенного диода приводит к небольшому уменьшению выходного напряжения, поскольку ток, протекающий в нагрузке, определяет-

ся разностью токов прямосмещенного и обратносмещенного диодов.

На рис. 2.6 видно, что в выходном напряжении за время одного периода наблюдаются две полуволны выпрямленного напряжения. Длительность каждой полуволны равна половине периода входного напряжения . Поэтому такое выпрямление называют двухполупериодным. На каждом из полупериодов направление тока в нагрузке R_L одинаково и не зависит от того, какой диод находится в проводящем состоянии. Чередование положительных и отрицательных полупериодов во входном напряжении приводит к чередованию состояний выпрямительных диодов. Выходное напряжение рассмотренного выпрямителя отрицательно и измеряется как среднее напряжение на резисторе R_L относительно земли.

Как и в однополупериодном выпрямителе, основными показателями неисправностей здесь могут быть либо отсутствие выходного напряжения, либо его низкое значение.

Причинами отсутствия выходного напряжения могут быть отсутствие входного напряжения, короткое замыкание в цепи нагрузки, обрывы в первичной или вторичной обмотках трансформатора или неисправности диодов. Низкий уровень выходного напряжения может свидетельствовать о старении диодов, обрывах в цепях диодов или полуобмотках вторичной обмотки трансформатора. В последнем случае двухполупериодный выпрямитель работает как однополупериодный.

Аналогичны и методы отыскания повреждений в двухполупериодном выпрямителе. Проверьте напряжения на первичной и вторичной обмотках трансформатора, измерьте входной ток выпрямителя и, отключив входное напряжение, произведите измерения сопротивлений входящих в схему компонентов. Причиной уменьшения выходного напряжения могут быть межвитковые короткие замыкания в первичной или вторичной обмотках трансформатора. (Короткозамкнутые витки невозможно определить с помощью омметра. Они легче обнаруживают по виду напряжений на различных обмотках подключенного к сети трансформатора.)

Двухполупериодный мостовой выпрямитель

На рис. 2.7 показано включение диодов в двухполупериодном мостовом выпрямителе, обеспечивающем положи-

тельное напряжение в нагрузке R_L. Трансформируемое во вторичную обмотку трансформатора *TV* входное напряжение вызывает попеременное смещение в прямом направлении пар диодов *VD1* и *VD3* или *VD2* и *VD4*. В первый, обозначенный на рисунке цифрой *1* положительный полу-

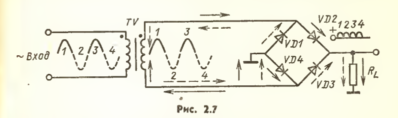


Рис. 2.7

период входного напряжения верхние выводы обмоток трансформатора положительны относительно нижних (сплошные линии напряжений и соответствующих токов). Положительное напряжение на катоде диода *VD1* вызывает его обратное смещение. Оно же является напряжением на аноде диода *VD2* и обеспечивает прямое смещение последнего. В это же время отрицательное напряжение на нижнем выводе вторичной обмотки, связанным с точкой объединения анода диода *VD3* и катода диода *VD4*, вызывает смещение первого из них в обратном направлении, а второго — в прямом. Таким образом, в первом полупериоде входного напряжения диоды *VD2* и *VD4* смещены в прямом направлении, и через них будет протекать ток. Путь тока обозначен непрерывными стрелками: от верхнего вывода вторичной обмотки трансформатора через диод *VD2* к нагрузке R_L, где он течет от верхнего вывода к нижнему (корпусу), далее к точке объединения диодов *VD1*, *VD4* и через прямосмещенный диод *VD4* к нижнему выводу вторичной обмотки трансформатора, являющейся источником энергии для выпрямителя.

Во втором полупериоде, обозначенном на рис. 2.7 цифрой *2*, верхний вывод вторичной обмотки трансформатора отрицателен по отношению к нижнему. Это напряжение приводит к прямому смещению диода *VD1* и обратному смещению *VD2*. Положительное напряжение на нижнем выводе вторичной обмотки вызывает обратное смещение диода *VD4* и прямое смещение диода *VD3*. Путь тока для этого полупериода показан на рисунке штриховыми стрелками: от нижнего вывода вторичной обмотки через прямо-

смещенный диод *VD3* к нагрузке, через нагрузку к земле в том же направлении, что и в первом полупериоде, а далее к точке объединения диодов *VD1* и *VD4*. Здесь диод *VD1* смещен в прямом направлении и ток через него протекает к верхнему выводу вторичной обмотки трансформатора.

Заметьте, что пары диодов в мостовом выпрямителе поочередно находятся в проводящем состоянии. Сначала хорошо проводят диоды *VD2* и *VD4*, а затем *VD1* и *VD3*. Выходное напряжение имеет пульсирующий характер. Каждому полупериоду входного напряжения соответствует положительная полуволна выходного напряжения. Таким образом, форма выходного напряжения имеет такой же вид, как и в двухполупериодном выпрямителе с выводом нулевой точки.

В мостовом выпрямителе характерными неисправностями являются либо отсутствие выходного напряжения, либо его пониженный уровень. Причины неисправностей здесь такие же, как и в ранее рассмотренных выпрямителях. Если один из диодов в мостовой схеме оборван, то она работает как однополупериодный выпрямитель и имеет более низкое выходное напряжение.

Особенности силовых диодов

Важнейшими параметрами силовых полупроводниковых диодов, которые необходимо учитывать при разработке источников электропитания, являются:

постоянный прямой ток;

повторяющееся обратное напряжение;

импульсный прямой ток;

повторяющийся импульсный прямой ток.

Первый параметр — постоянный прямой ток — определяет максимальное значение постоянного тока, который может протекать через диод, смещенный в прямом направлении, при определенной температуре окружающей среды. Превышение этого параметра может привести к выходу диода из строя. Второй параметр определяет максимальное мгновенное значение импульсного обратного напряжения на диоде, включая повторяющиеся переходные напряжения.

Импульсный прямой ток определяет максимальное мгновенное значение прямого тока диода в неповторяющихся переходных режимах. Ток в диоде не должен превышать

указанное значение в любой момент времени, а длительность максимального тока не должна превышать один период входного напряжения. Повторяющийся импульсный прямой ток задает максимальное мгновенное значение прямого тока, включая повторяющиеся переходные токи.

Все перечисленные параметры зависят от температуры окружающей среды. При повышении температуры все они уменьшаются, и для обеспечения нормальной работы диодов необходимо пользоваться справочными данными, характеризующими зависимость параметров от температуры.

Сетевые трансформаторы

Трансформаторы широко используются в источниках электропитания, поскольку они являются простыми и надежными преобразователями электрической энергии. Основное назначение трансформаторов — преобразование уровня входного переменного напряжения. Выходное напряжение трансформатора может быть меньше, больше или равно входному напряжению. Если уровень выходного напряжения меньше входного, то трансформаторы называют понижающими, если больше — повышающими. Трансформатор, у которого входное и выходное напряжения равны, можно назвать изолирующими или разделительным трансформатором, так как в нем входное и выходное напряжения электрически изолированы друг от друга. Основной выходной величиной, характеризующий работу трансформатора, является выходное напряжение.

Обмотки трансформатора выполняются проводом, покрытым изоляционным слоем. Таким образом, каждый виток любой обмотки изолирован от соседних, а следовательно, и любые обмотки электрически изолированы одна от другой. Поэтому источник энергии, подключаемый к первичной обмотке, электрически не связан с любой иной обмоткой и соединенной с этой обмоткой схемой. Трансформаторы обладают высоким коэффициентом полезного действия. Обычно не менее 90% подводимой ко входу трансформатора энергии используется в выходных цепях.

Перейдем к описанию взаимоотношений, характеризующих значение напряжений и токов в различных обмотках трансформатора, а также его энергетических показателей. Напряжение, наводимое во вторичной обмотке трансформатора, определяется отношением чисел витков вторичной и первичной обмоток и напряжением, действующим на пер-

вичной обмотке. Каждому вольту, приходящемуся на один виток первичной обмотки, соответствует точно такое же количество В/виток во вторичной обмотке. Например, если первичная обмотка имеет 10 витков и на каждый виток приходится 10 В, то полное напряжение на первичной обмотке составляет 100 В.

Пусть вторичная обмотка в этом примере имеет 5 витков. Поскольку отношение В/виток для первичной и вторичной обмоток одинаково, то напряжение на вторичной обмотке будет 50 В (5 витков по 10 В на каждом витке). Такой трансформатор будет понижающим. Если же во вторичной обмотке вместо 5 витков намотано 15, то значение выходного напряжения составит 150 В (15 витков по 10 В на каждом витке). Это пример повышающего трансформатора.

Изложенное выше позволяет найти простое соотношение, связывающее между собой значения напряжений на обмотке. Напряжение первичной обмотки (U_P) равно значению В/виток, умноженному на число витков первичной обмотки (N_P); напряжение вторичной обмотки (U_S) пропорционально числу витков этой обмотки (N_S). Поэтому связь напряжений на обмотках определяется соотношением $U_P/U_S = N_P/N_S$. Отсюда легко можно найти любую величину, если три другие известны.

В идеальном трансформаторе мощность, подводимая к первичной обмотке трансформатора ($U_P I_P$) от входного источника напряжения, полностью выделялась бы в нагрузке, подключенной ко вторичной обмотке ($U_S I_S$). Хотя эффективность трансформатора и высока, однако реально коэффициент полезного действия всегда меньше 100 %. Не будем здесь детально рассматривать механизм этих потерь. Отметим лишь их основные причины: во-первых, это потери на омических сопротивлениях обмоток трансформатора, во-вторых, потери, определяемые вихревыми токами в сердечнике, и, наконец, потери на перемагничивание, обусловленные гистерезисом магнитных характеристик.

Коэффициент полезного действия в процентах определяется выражением $(P_{вых}/P_{вх}) \cdot 100$ %. Отношение первичного (I_P) и вторичного (I_S) токов противоположно отношению соответствующих напряжений. Это означает, что в повышающем трансформаторе ток во вторичной обмотке меньше, чем в первичной. Напротив, в понижающем трансформаторе он больше первичного. Если входное напряжение постоянно, а напряжение во вторичной обмотке увеличивается за счет

роста числа витков вторичиой обмотки, то ток вторичной обмотки уменьшается (входная мощность примерно равна выходной). Сказанное выше справедливо, поскольку магиитный поток в сердечнике трансформатора пропорционален ампер-виткам взаимодействующих обмоток (поскольку поток, пронизывающий обе обмотки, одинаков, то произведения количества витков каждой из обмоток на соответствующий ток равны между собой, т. е. $I_S N_S = I_P N_P$). Так как $N_P/N_S = U_P/U_S$, то, следовательно, $U_P I_P = U_S I_S$. Выше было замечено, что вторичное напряжение может быть выше или ииже первичного. Если это так, то $U_P/U_S = I_S/I_P$, т. е. отиошение токов обратно пропорциоиальио отиошению напряжеиий.

Фильтры источников питания

Для работы различных электроиных устройств необходимы источники напряжеиия, обеспечивающие питание устройств постояиным током. Выше было продемоистрировано, каким образом перемениое иапряжение может быть преобразоваио в одноиаправленное иапряжеиие, поляриость которого отиосительно земли ие изменяется.

Выходное напряжение рассмотреииых выпрямителей имеет пульсирующий вид. В нем можио выделить средиюю, или постоянную, составляющую иапряжеиия и переменную составляющую, которую называют напряжением пульсаций или пульсациями выходного напряжеиия. Таким образом, пульсации определяют отклонения мгновеииого зиачения выходиого напряжения от среднего и могут быть как положительными, так и отрицательными. Пульсации напряжения характеризуются двумя факторами: частотой и амплитудой пульсаций. В рассмотреииых выпрямителях частота пульсаций либо такая же, как и частота входиого напряжения (в однополупериодном выпрямителе), либо вдвое выше (в двухполупериодных выпрямителях).

В однополупериодном выпрямителе для получения выходного напряжения используется только одна полуволна входного напряжения, и выходное напряжение имеет вид одионаправлеиных полуволн, следующих с частотой входиого напряжения. В двухполупериодных выпрямителях (и с выводом нулевой точки, и в мостовом) полуволиы выходного напряжения образуются из каждой полуволиы входного напряжения. Поэтому частота пульсаций здесь вдвое выше, чем частота сети. Если частота тока в сети 60 Гц, то

такова же будет частота пульсаций в однополупериодном выпрямителе, а в двухполупериодных она составляет 120 Гц.

Амплитуду пульсаций выходного напряжения выпрямителя необходимо знать с тем, чтобы определить эффективность устанавливаемых на выходе выпрямителей фильтров, выделяющих среднюю составляющую напряжения. Эту амплитуду принято характеризовать коэффициентом пульсаций, который определяется как отношение действующего значения переменной составляющей выходного напряжения (E_{rms}) к его среднему значению (E_{dc}): $r = E_{rms}/E_{dc}$.

Чем ниже коэффициент пульсаций, тем выше эффективность фильтра. Часто на практике используют также коэффициент пульсаций, выраженный в процентах: $(E_{rms}/E_{dc}) \cdot 100\,\%$.

В источниках электропитания используются обычно фильтры нижних частот. Эти фильтры пропускают со входа на выход, почти не ослабляя или ослабляя незначительно, сигналы, частоты которых ниже граничной частоты фильтра, и все более высокие частоты практически не пропускаются на выход фильтра. Фильтры могут быть выполнены на резисторах, катушках индуктивности и конденсаторах. Использование фильтров в источниках питания преследует цель сгладить пульсации выходного напряжения выпрямителей и выделить постоянную составляющую напряжения.

Фильтры, используемые в устройствах электропитания, подразделяются на два основных вида: фильтры с емкостным входом и фильтры с индуктивным входом. Применяют различные комбинации включения элементов фильтра, имеющие различные названия (П-образный фильтр, Г-образный фильтр и т. п.). Основной вид фильтра определяется элементом фильтра, устанавливаемым непосредственно на выходе выпрямителя.

На рис. 2.8, *а* и *б* показаны основные типы фильтров. В первом из них конденсатор фильтра включен на выходе выпрямителя и шунтирует нагрузку. Именно через конден-

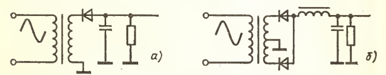


Рис. 2.8

сатор фильтра замыкается основная часть переменной составляющей тока выпрямителя. Во втором к выходу выпрямителя подключен дроссель фильтра, который образует с нагрузкой последовательную цепь и препятствует любым изменениям тока в этой последовательной цепи. Фильтр с емкостным входом обеспечивает более высокий уровень выходного напряжения, чем фильтр с индуктивным входом, а фильтр с индуктивным входом лучше сглаживает пульсации напряжения. Таким образом, фильтр с емкостным входом целесообразно использовать в тех случаях, когда требуется получить в источнике питания более высокое напряжение, а фильтр с индуктивным входом — тогда, когда требуется лучшее качество выходного постоянного напряжения.

Фильтр с емкостным входом. Прежде чем рассматривать работу сложных фильтров, необходимо уяснить работу простейшего емкостного фильтра, изображенного на рис. 2.9, *а*. Выходное напряжение выпрямителя без фильтра по-

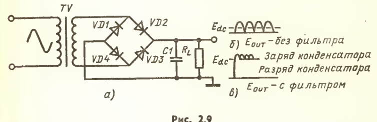


Рис. 2.9

казано на рис. 2.9, *б*, а при наличии фильтра — на рис. 2.9, *в*. При отсутствии конденсатора фильтра напряжение на R_L имеет пульсирующий характер. Среднее значение этого напряжения является выходным напряжением выпрямителя.

При наличии конденсатора фильтра основная часть переменной составляющей тока замыкается через конденсатор, минуя нагрузку R_L. С появлением первой полуволны выходного напряжения конденсатор фильтра начнет заряжаться положительно относительно корпуса, напряжение на нем будет изменяться в соответствии с выходным напряжением выпрямителя и по окончании половины полупериода достигнет максимального значения. Далее напряжение на вторичной обмотке трансформатора уменьшается, а конденсатор начнет разряжаться через R_L, поддерживая положительное напряжение и ток в нагрузке на более высоком уровне, чем

было бы при отсутствии фильтра. Прежде чем конденсатор сможет полностью разрядиться, появляется вторая положительная полуволна напряжения, которая вновь осуществляет заряд конденсатора до максимального значения. Как только напряжение на вторичной обмотке начнет уменьшаться, конденсатор вновь начнет разряжаться на нагрузку. В дальнейшем циклы заряда и разряда конденсатора чередуются в каждом полупериоде.

Ток заряда конденсатора протекает по вторичной обмотке трансформатора и соответствующей данному полупериоду паре выпрямительных диодов, а ток разряда конденсатора замыкается через нагрузку R_L. Реактивное сопротивление конденсатора на частоте сети мало́ сравнительно с R_L. Поэтому переменная составляющая тока протекает преимущественно через конденсатор фильтра, а через R_L течет практически постоянный ток.

Проиллюстрируем полезность использования постоянной времени RC, характеризующей скорость изменения напряжения на конденсаторе в процессе его заряда или разряда. Если значения $C1$ и R_L таковы, что время разряда конденсатора меньше или равно времени его заряда, то процесс фильтрации отсутствует. Чем больше значения $C1$ и R_L, тем больше постоянная времени цепи разряда конденсатора и меньше коэффициент пульсаций. Постоянная времени цепи заряда конденсатора определяется произведением емкости конденсатора $C1$ на сумму последовательно включенных сопротивлений вторичной обмотки трансформатора и пары проводящих диодов. Эта сумма существенно меньше, чем сопротивление цепи разряда, определяемое нагрузкой R_L. Поэтому выходное напряжение в выпрямителе с емкостным фильтром практически равно амплитудному значению переменного напряжения вторичной обмотки трансформатора. Емкостный фильтр обеспечивает качественную фильтрацию выходного напряжения выпрямителей с малыми выходными токами. Увеличение тока нагрузки увеличивает пульсации выходного напряжения вследствие уменьшения сопротивления нагрузки и, следовательно, постоянной времени разряда конденсатора.

Фильтр с индуктивным входом. Рассмотрим фильтр с индуктивным входом, или Г-образный LC-фильтр. Включение его в выпрямителе и форма выходного напряжения изображены на рис. 2.10. Последовательное соединение дросселя фильтра (L) с нагрузкой препятствует изменениям тока в цепи. Напряжение на выходе здесь меньше, чем в фильтре

с емкостным входом, так как дроссель образует последовательное соединение с полным сопротивлением, образованным параллельным соединением нагрузки и конденсатора фильтра. Такое соединение приводит к хорошему сглаживанию пульсаций напряжения, действующих на входе фильтра, улучшению качества постоянного выходного напряжения, хотя и уменьшает его значение.

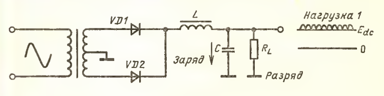


Рис. 2.10

На индуктивности дросселя почти полностью выделяется переменная составляющая выходного напряжения выпрямителя, а средняя составляющая является выходным напряжением источника питания. Наличие дросселя приводит к тому, что продолжительность проводящего состояния диодов выпрямителя здесь в отличие от выпрямителя с емкостным фильтром равна половине периода. Реактивное сопротивление дросселя (L) уменьшает значение напряжения пульсаций, поскольку препятствует возрастанию тока в дросселе, когда напряжение на выходе выпрямителя больше, чем напряжение на нагрузке, а также препятствует уменьшению тока, если напряжение на выходе выпрямителя меньше среднего значения. Благодаря этому ток в нагрузке за период работы практически постоянен, а напряжение пульсаций не зависит от тока нагрузки.

Многозвенный индуктивно-емкостный фильтр. Качество фильтрации выходного напряжения может быть улучшено путем последовательного включения нескольких фильтров. На рис. 2.11 показан двухзвенный LC-фильтр и примерно

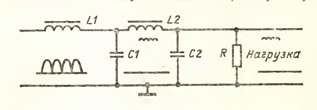


Рис. 2.11

изображены формы напряжений в различных точках фильтра относительно общей точки.

Хотя здесь изображены два последовательно соединенных LC-фильтра, число звеньев может быть увеличено. Увеличение количества звеньев приводит к уменьшению пульсаций (а многозвенные фильтры применяют именно тогда, когда требуется получить минимальные пульсации в выходном напряжении), но при этом уменьшается устойчивость стабилизаторов с такими фильтрами. К тому же увеличение количества звеньев приводит к увеличению сопротивления, включенного последовательно с источником питания, что вызывает увеличение изменений выходного напряжения с изменением тока нагрузки.

П-образный фильтр. Показанный на рис. 2.12 П-образный фильтр, названный так потому, что графическое его

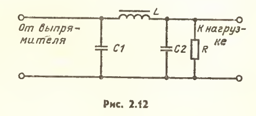


Рис. 2.12

изображение похоже на букву П, представляет собой сочетание емкостного и Г-образного LC-фильтров.

Резистор R, включеный на выходе фильтра, практически всегда присутствует в источниках питания и является дополнительным нагрузочным сопротивлением. Назначение его двояко. Во-первых, он обеспечивает путь разряда конденсаторов при отключении напряжения сети и тем самым предотвращает возможности получения электрических ударов обслуживающим персоналом. Во-вторых, он обеспечивает дополнительную нагрузку источника питания даже тогда, когда внешняя нагрузка отключена, и тем самым стабилизирует уровень выходного напряжения. Этот резистор можно также использовать как элемент резистивного делителя напряжения для получения дополнительных выходов.

П-образный фильтр — это фильтр с конденсаторным входом, дополненный Г-образным звеном. Основное фильтрующее действие выполняет конденсатор $C1$, который заряжается через проводящие диоды, а разряжается через

L и R. Как и в обычном фильтре с емкостным входом, время заряда конденсатора существенно меньше времени разряда. Дроссель L сглаживает пульсации тока, протекающего через конденсатор $C2$, обеспечивая дополнительную фильтрацию. Напряжение на конденсаторе $C2$ является выходным напряжением. Хотя его значение немного меньше, чем в источнике питания с обычным емкостным фильтром, но пульсации выходного напряжения значительно уменьшены.

Если даже предположить, что конденсатор $C1$ через проводящие диоды выпрямителя заряжается до амплитудного значения входного переменного напряжения, а затем разряжается через R, напряжение на конденсаторе $C2$ будет меньше, чем на $C1$, так как дроссель L, препятствующий любым изменениям тока нагрузки, стоит в цепи разряда конденсатора $C1$ и образует совместно с $C2$ и R делитель напряжения.

Ток заряда конденсаторов $C1$ и $C2$ проходит через вторичную обмотку трансформатора и проводящие диоды выпрямителя. Кроме того, при заряде $C2$ этот ток протекает через дроссель L. Разряд конденсатора $C1$ происходит через последовательно соединенные L и R, а разряд $C2$ — только через сопротивление R. Скорость разряда входного конденсатора $C1$ зависит от значения сопротивления R. Постоянная времени разряда конденсаторов прямо пропорциональна значению R. Если она велика, то конденсаторы разряжаются мало и выходное напряжение велико. При меньших значениях R скорость разряда увеличивается и выходное напряжение будет уменьшаться, так как уменьшение R означает увеличение тока разряда конденсатора. Таким образом, среднее значение выходного напряжения тем ниже, чем меньше постоянная времени разряда конденсаторов.

П-образный C—RC-фильтр. В отличие от только что рассмотренного фильтра в П-образном C—RC-фильтре между двумя конденсаторами вместо дросселя включен резистор $R1$ так, как это показано на рис. 2.13. Основные отличия в работе фильтров определяются различной реакцией дросселя и сопротивления переменному току. В предыдущем случае реактивные сопротивления дросселя L и конденсатора $C2$ таковы, что делитель напряжения, образованный ими, обеспечивал относительно лучшее сглаживание выходного напряжения.

На рис. 2.13 как постоянная, так и переменная состав-

ляющие выпрямленного тока протекают через *R1*. Вследствие падения напряжения на *R1* от постоянной составляющей выходное напряжение уменьшается, и чем выше ток, тем больше это падение напряжения. Поэтому *C—RC*-фильтр можно применять только при незначительных токах

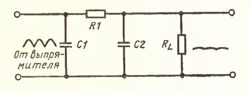


Рис. 2.13

нагрузки. Как и в случае индуктивно-емкостных фильтров, здесь можно использовать многозвенное включение фильтрующих цепей. Выбор фильтров в каждом конкретном случае — это не простая проблема, но вы должны, во всяком случае, понимать их назначение и принципы работы вследствие того, что они во многом определяют правильность работы устройств электропитания.

Дополнительный нагрузочный резистор как делитель напряжения

Рисунок 2.14 демонстрирует возможность использования стабилизирующего нагрузочного резистора в качестве делителя напряжения для получения различных уровней выходного напряжения. Выход *3* схемы соединен с корпусом. По делителю напряжения ток течет сверху вниз, что

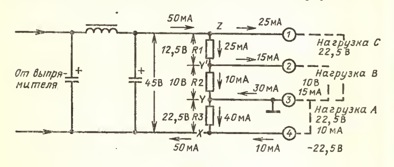


Рис. 2.14

делает выход *4* отрицательным по отношению к земле, а выходы *2* и *1* — положительными. Подобное устройство электропитания типично для электронных схем, содержащих биполярные транзисторы с противоположным типом проводимости (*n-p-n* и *p-n-p* типов), так как коллекторные напряжения этих транзисторов соответственно положительные и отрицательные. В узле *Z* ток, который поступает от выпрямителя через фильтр и значение которого равно 50 мА, разделяется на две равные составляющие. Одна из них протекает через нагрузку *C*, подключенную к земле, а вторая — через резистор *R1*, создавая на нем падение напряжения 12,5 В. В узле, обозначенном буквой *Y'*, ток 25 мА, протекающий по резистору *R1*, вновь разветвляется по двум цепям: 10 мА течет через резистор *R2*, создавая на нем положительное напряжение 10 В, а 15 мА — через нагрузку *B*, подключенную параллельно резистору *R2*. Понятно, что значения напряжений на нагрузке *B* и резисторе *R2* совпадают. Очевидно также, что сопротивление резистора *R2* больше полного сопротивления нагрузки *B* в 1,5 раза. Если это так, определите значение сопротивления резистора, воспользовавшись формулой $R=U/I$, связывающей между собой ток и напряжение. Следует отметить, что нагрузка *C* включена параллельно двум последовательно соединенным резисторам *R1* и *R2*. Поэтому напряжение на ней положительное относительно корпуса (выход *3*), равно сумме напряжений на указанных резисторах и составляет 22,5 В. На выходе *3* алгебраически суммируются четыре тока: токи нагрузок *A*, *B* и *C*, а также ток, текущий в проводе, соединяющем выход *3* с узлом *Y* делителя напряжения. Токи нагрузок *B* и *C* имеют одинаковое направление и втекают в вывод *3*, а два оставшихся тока имеют противоположное направление, т. е. вытекают из вывода *3*. Если принять, что ток нагрузки *A* составляет 10 мА, то к узлу *Y* через соединительный провод от вывода *3* течет ток 30 мА. Этот ток, суммируясь с током резистора *R2*, образует ток 40 мА, протекающий по резистору *R3* и создающий на нем отрицательное относительно общей точки напряжение, равное 22,5 В, которое, конечно же, равно напряжению на нагрузке *A*. Суммируясь в узле *X*, токи резистора *R3* и нагрузки *A* дают ток, равный 50 мА, текущий ко второму выходу выпрямителя, что удовлетворяет первому закону Кирхгофа.

Рисунок 2.15 иллюстрирует описанное выше распределение токов в виде линий со стрелками, показывающими их направление. Может показаться, что в некоторых цепях ток

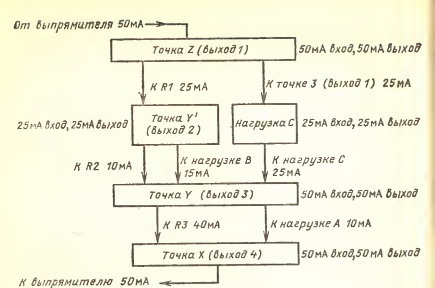


Рис. 2.15

протекает одновременно в различных направлениях. Однако это не так, и реальное направление тока в каждой ветви можно определить, воспользовавшись первым законом Кирхгофа (алгебраическая сумма токов в узле равна нулю).

Двухканальный мостовой выпрямитель

На рис. 2.16 показаны схемы двухканальных мостовых выпрямителей: упрощенная функциональная и полная принципиальная включающая в себя схемы выходных фильтров выпрямителя. Это типичные схемы двухканального источника питания.

В принципиальной схеме диоды *VD1* и *VD3* образуют двухполупериодный выпрямитель с выводом нулевой точки, на выходе которого включен П-образный фильтр, состоящий из конденсаторов *C2A*, *C2B* и дросселя *L2*. Резистор *R1* используется для ограничения импульсных токов диодов. Минимальная нагрузка выпрямителя определяется резистором *R4*. Диоды *VD2* и *VD4* в совокупности с диодами *VD1* и *VD3* образуют обычный мостовой выпрямитель,

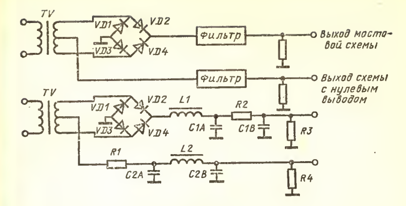


Рис. 2.16

работающий на двухзвенный фильтр, составленный элементами *L1*, *C1A* и *R2*, *C1B*. Резистор *R3* определяет ток на выходе второго канала. Каждый из выпрямителей работает обычным образом и имеет такие же характерные неисправности, как и другие источники питания, описанные в этой главе. Эти неисправности проявляются либо в отсутствии выходного напряжения, либо в уменьшении его значения.

Двухполупериодный выпрямитель с разнополярными выходами

Источник электропитания, имеющий два выходных канала с разнополярными уровнями напряжения, приведен на рис. 2.17. Он имеет одну качественно отличительную черту по сравнению с мостовым выпрямителем: заземлен вывод средней точки вторичной обмотки трансформатора. Компо-

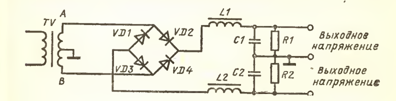


Рис. 2.17

ненты, обеспечивающие положительное выходное напряжение, включают в себя диоды *VD2*, *VD4*, дроссель фильтра *L1*, конденсатор *C1* и нагрузочный резистор *R1*, а отрицательный уровень выходного напряжения образуется с помощью элементов *VD1*, *VD3*, *L2*, *C2* и *R2*. Общим элементом является трансформатор.

Работа каждого из выпрямителей идентична. Рассмотрим тот полупериод, когда напряжение в точке *A* отрицательно по отношению к корпусу, а в точке *B* — положительно, при этом в проводящем состоянии находятся диоды *VD1* и *VD4*, которые принадлежат различным выпрямителям. Рассмотрим канал с положительным выходным напряжением, ток в котором обеспечивается проводящим состоянием диода *VD4*. Источником энергии для этого канала является нижняя половина вторичной обмотки трансформатора. Ток от вывода *B* этой полуобмотки замыкается через диод *VD4*, дроссель *L1*, заряжает конденсатор *C1*, протекает по резистору *R1* к «Земле» и возвращается к нулевому выводу вторичной обмотки. В это же время верхняя половина вторичной обмотки выполняет роль источника энергии для второго (отрицательного) канала выходного напряжения. Ток в этом канале течет от нулевого вывода обмотки к выводу резистора *R2*, связанному с корпусом, затем через резистор *R2* сверху вниз, создавая на нем отрицательное относительно общей точки напряжение, и далее через дроссель *L2* и прямосмещенный диод *VD1* к выводу *A* обмотки трансформатора. При смене полярности входного напряжения точка *A* становится положительной относительно нулевого вывода, а точка *B* — отрицательной. Теперь в проводящем состоянии находятся диоды *VD2* (положительный канал выходного напряжения) и *VD3* (отрицательный канал выходного напряжения).

В положительном канале ток протекает в направлении от вывода *A* верхней полуобмотки, являющейся теперь источником энергии для этого канала, через прямосмещенный диод *VD2*, дроссель *L1*, резистор *R1* и далее к нулевому выводу трансформатора.

В это же время в нижней половине вторичной обмотки ток течет по направлению от вывода *B* к нулевому выводу, так как эта полуобмотка является теперь источником энергии для отрицательного канала. Далее ток замыкается через резистор *R2* сверху вниз, как и в первом полупериоде, дроссель *L2*, а далее через прямосмещенный диод *VD3* возвращается к выводу *B*.

Неисправности двухканальных выпрямителей имеют тот же характер, что и в остальных схемах, и проявляются либо в виде отсутствия выходного напряжения, либо в пониженном уровне выходного напряжения. Следует понять, что в двухканальном источнике питания с мостовым выпрямителем может наблюдаться уменьшение одного из уровней выходного напряжения, тогда как напряжение на выходе второго канала остается нормальным. Если токи нагрузки не превышают допустимые значения и фильтрующие компоненты целы, то уменьшение напряжения на выходе мостового выпрямителя при сохранении уровня напряжения на втором выходе может быть обусловлено повреждением диодов *VD2* и *VD4*; в противоположной ситуации могут быть повреждены диоды *VD1* и *VD3*.

Умножители напряжения

На рис. 2.18 показан обычный однополупериодный выпрямитель, в котором выходное напряжение (E_{out}) больше действующего значения напряжения на вторичной обмотке

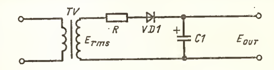


Рис. 2.18

трансформатора (E_{rms}) и примерно равно амплитудному значению последнего (E_{peak}), если только ток нагрузки мал:

$$E_{out} = E_{peak} = 1{,}4E_{rms}.$$

При росте тока нагрузки выходное напряжение уменьшается. Это проще всего можно объяснить, использовав постоянные времени, характеризующие скорости заряда и разряда конденсатора *C1*. Постоянная времени заряда мала, так как ток заряда конденсатора последовательно течет по вторичной обмотке трансформатора, резистору *R*, включенному для ограничения импульсного тока диода, и диоду *VD1*. Суммарное сопротивление этих элементов невелико, так как диод *VD1* в процессе заряда конденсатора находится в проводящем состоянии, а значение сопротивления резистора *R* не превышает десятков ом. Разрядный ток

конденсатора замыкается через нагрузку, полное сопротивление которой обычно в несколько сот раз превышает сопротивление зарядной цепи конденсатора. Чем меньше сопротивление разрядной цепи, тем больше ток разряда конденсатора и меньше выходное напряжение выпрямителя.

Выпрямители с умножением напряжения часто применяются на практике, и все они имеют одну общую характерную черту, а именно для увеличения выходного напряжения в них используются конденсаторные накопители заряда. На рис. 2.19 представлено условное обозначение умножителя

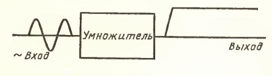


Рис. 2.19

напряжения с входным переменным напряжением, выходное напряжение которого постоянно и существенно превышает значение входного напряжения.

Однополупериодный удвоитель напряжения

Термин «однополупериодный удвоитель напряжения» первой из рассматриваемых нами схем умножителей, показывает, что выходное постоянное напряжение здесь примерно вдвое превышает значение напряжения в обычном однополупериодном выпрямителе с емкостным фильтром.

Схема удвоителя с положительным выходным напряжением представлена на рис. 2.20. Если требуется отрицательное напряжение, то оно может быть получено изменением полярности включения диодов. Представленный удвоитель содержит трансформатор, который может быть

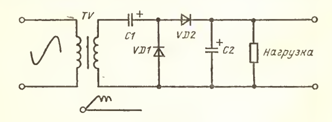


Рис. 2.20

использован или для повышения напряжения на его вторичной обмотке по сравнению с напряжением на первичной, или как элемент, обеспечивающий электрическую развязку между первичной и вторичной цепями. Если выполнение этих функций необязательно, то трансформатор может отсутствовать, при этом удвоитель включается непосредственно в сеть переменного тока.

Рассмотрим принцип работы умножителя. В тот полупериод входного напряжения, когда напряжение на верхнем выводе вторичной обмотки отрицательно, конденсатор *C1* через проводящий диод *VD1* будет заряжаться до напряжения, примерно равного амплитудному значению напряжения на вторичной обмотке. Полярность напряжения на конденсаторе указана на рис. 2.20. В этот полупериод выходное напряжение равно нулю. В следующем полупериоде напряжение на верхнем выводе вторичной обмотки становится положительным относительно нижнего вывода. Это положительное напряжение, суммируясь с напряжением на конденсаторе *C1*, приводит к прямому смещению диода *VD2* и обратному смещению диода *VD1*, при этом конденсатор *C1* разряжается через диод *VD2*, конденсатор *C2* и вторичную обмотку трансформатора, а конденсатор *C1* заряжается по той же цепи. Напряжение на заряженном конденсаторе *C2* определяется суммой напряжения на конденсаторе *C1* и амплитудного значения напряжения на вторичной обмотке трансформатора, т. е. примерно вдвое больше этого амплитудного значения.

Поскольку конденсатор *C2* заряжается 1 раз в течение периода входного напряжения, то частота пульсаций равна частоте входного напряжения. Так же как и в обычном выпрямителе, конденсатор *C2* между циклами заряда будет разряжаться током нагрузки. Поэтому для уменьшения пульсаций выходного напряжения необходимо использовать те или иные фильтры.

Процедуры выявления неисправностей в однополупериодных выпрямителях и удвоителях напряжения совпадают. Если выходное напряжение удвоителя равно нулю, то причиной этого могут быть неисправности трансформатора и диодов, обрыв конденсатора *C1* или короткое замыкание в конденсаторе *C2*. Пониженный уровень выходного напряжения может быть вызван уменьшением входного напряжения, старением диодов или увеличением тока нагрузки, обусловленным снижением сопротивления нагрузки.

Схемы умножителей напряжения, рассматриваемые ни-

же, имеют одну общую черту с однополупериодным удвоителем: везде для увеличения выходного напряжения используется заряд накопительных конденсаторов. В описанном выше удвоителе напряжение на заряженном конденсаторе *C1* суммируется со входным напряжением для того, чтобы примерно вдвое увеличить напряжение на конденсаторе *C2*. Аналогично этому в других умножителях напряжения на отдельных заряженных конденсаторах суммируются с тем, чтобы удвоить, утроить, увеличить в 4 раза входное напряжение.

Двухполупериодный удвоитель напряжения

Схема наиболее широко используемого на практике двухполупериодного удвоителя напряжения показана на рис. 2.21. В зависимости от конкретных требований она может быть подключена либо непосредственно к сети переменного тока, либо ко вторичной обмотке изолирующего трансформатора. Резистор R_S обеспечивает ограничение импульсных токов, протекающих через диоды. В тех случаях, когда он необходим, его целесообразно включать последовательно с источником переменного напряжения. Резисторы *R1* и *R2*, подключенные параллельно конденсаторам *C1* и *C2*, не обязательны для работы удвоителя. Они используются как дополнительная нагрузка, гарантирующая разряд конденсаторов при отключении сети и основной нагрузки. Кроме того, их применение обусловливает выравнивание значений напряжений на конденсаторах.

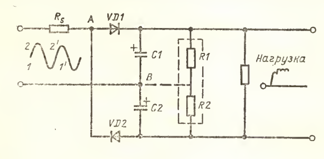


Рис. 2.21

Схема работает в основном так же, как и двухполупериодный выпрямитель, но с той разницей, что нагрузкой

выпрямителей в каждом из полупериодов является тот или другой конденсатор, заряжаемый до амплитудного значения входного напряжения, а напряжения на конденсаторах суммируются, обеспечивая удвоенное выходное напряжение. Когда напряжение в точке *A* относительно точки *B* положительно, конденсатор *C1* заряжается от сети через проводящий диод *VD1*. Напряжение на нем почти достигает амплитуды входного напряжения. В следующий полупериод входного напряжения точка *A* отрицательна по отношению к *B*. Поэтому проводит диод *VD2* и конденсатор *C2* заряжается до амплитудного значения входного напряжения с полярностью, указанной на рисунке. Выходное напряжение равно сумме напряжений на конденсаторах. Емкости конденсаторов *C1* и *C2*, как правило, равны, так же как равны сопротивления резисторов *R1* и *R2*. Значение сопротивления R_S мало и в зависимости от конкретных применений варьируется от десятков до сотен ом.

Утроитель напряжения

Типичная схема утроителя напряжения приведена на рис. 2.22, *а*, а на рис. 2.22, *б—г* представлены цепи заряда конденсаторов утроителя через соответствующие диоды, находящиеся в проводящем состоянии, с указанием направления зарядных токов: рис. 2.22, *б* — цепь заряда конденсатора *C1* от входного источника через диод *VD2*; рис. 2.22, *в* — цепь заряда конденсатора *C3* через диод *VD3*; рис. 2.22, *г* — цепь заряда конденсатора *C2* через проводящий диод *VD1*. Рисунок 2.22, *д* иллюстрирует форму напряжений на входе утроителя, конденсаторах и нагрузке.

При внимательном рассмотрении принципиальной схемы утроителя можно определить, что при исключении элементов *VD3* и *C3* она превращается в однополупериодный удвоитель напряжения, работу которого мы описали выше. Диод *VD3* совместно с конденсатором *C3*, шунтированным резистором *R2*, образует схему однополупериодного выпрямителя, причем выходы по отношению к нагрузке включены последовательно. Таким образом, утроитель напряжения представляет собой объединение схем однополупериодных удвоителя и выпрямителя напряжений, организованное так, что их выходные напряжения включены последовательно и суммируются в нагрузке. Напряжение в нагрузке примерно втрое больше амплитуды входного напряжения.

При отрицательной полуволне входного напряжения

конденсатор *C1* заряжается через проводящий диод *VD2* и вторичную обмотку трансформатора (рис. 2.22, *б*) так, что его правая обкладка становится положительной по отношению к левой.

В это же время диод *VD3* также смещен в прямом направлении, и через него осуществляется заряд конденсато-

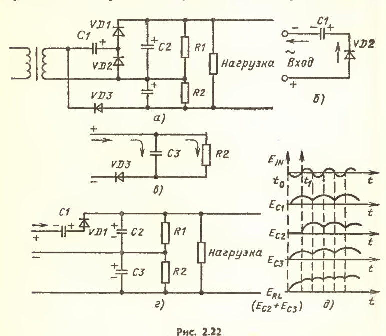


Рис. 2.22

ра *C3* в направлении, указанном на рис. 2.22, *в*. Таким образом, в конденсаторах *C1* и *C3* накапливается электрическая энергия (заряд), а значения напряжений на каждом из них примерно равны амплитуде входного напряжения.

В следующем полупериоде входное напряжение изменяет знак на противоположный, что приводит в проводящее состояние диод *VD1*. На рис. 2.22, *г* показано, что напряжение на конденсаторе *C1* на этом этапе работы суммируется с входным напряжением, увеличивая значение напряжения, до которого заряжается конденсатор *C2*. Оно почти в 2 раза превышает амплитуду входного напряжения. Этот же рисунок показывает, что конденсаторы *C2* и *C3* включены последовательно и образуют общее выходное напря-

женне, к которому подключена нагрузка. Поэтому значение выходного напряжения примерно втрое больше амплнтуды входного напряжения.

Рисунок 2.22, *д* иллюстрирует работу утроителя во времени. В начальный момент времени (t_0) входное напряжение начинает уменьшаться, при этом напряжения на конденсаторах *C1* и *C3* увеличиваются. В положительный полупериод входного напряжения (t_1) конденсаторы *C1* и *C3* разряжаются, а напряжение на *C2* увеличивается. Напряжение на разряжающемся конденсаторе *C1* в процессе заряда конденсатора *C2* складывается с входным напряжением так, что значение E_{C2} почти вдвое превышает амплитуду входного напряжения. Поскольку E_{C2} н E_{C3} включены последовательно, то напряжение на нагрузке равно их сумме.

Цепи разряда конденсаторов *C1—C3* всегда имеют существенно большие сопротивления, чем цепи заряда. Поэтому, хотя в выходном напряженин н имеются пульсации, обусловленные разрядом конденсаторов, среднее значение напряжеиня близко к утроенной амплитуде входного напряжения. Частота пульсаций здесь вдвое выше частоты сети, поскольку заряд и разряд конденсаторов *C2* и *C3* происходят в разные полупериоды входного напряжения.

Последовательность действий при обнаружении неисправностей в утронтеле и выпрямителях совпадает. Опять внешним проявлением неправильной работы утроителя является либо отсутствие выходного напряження, либо его пониженный уровень. Причинами отсутствия выходного напряжения могут быть отсутствие входного напряження, дефекты в трансформаторе нли короткое замыкание в нагрузке. При низком выходном напряжении необходимо, прежде всего, проверить значение входного напряжения. Уменьшенне выходного напряжения может быть вызвано старением днодов, приводящим к росту прямого илн уменьшению обратного сопротивлений диода, ростом токов утечек конденсаторов или уменьшением значений их емкостей, а также увеличением тока нагрузки (уменьшение сопротивления нагрузки).

Учетверитель напряжения

Схема, позволяющая получить постоянное напряженне, значение которого почти в 4 раза больше амплнтуды переменного входного напряжения, показана на рис. 2.23. По

существу, она образована двумя однополупериодными удвоителями, соединенными между собой противоположными по полярности выводами. Для объяснения работы учетверителя он и изображен на рисунке в виде, где явно выделены составляющие его удвоители напряжения. Эле-

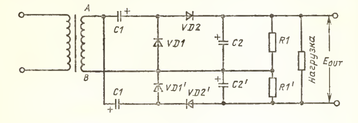


Рис. 2.23

менты одного из них, выполняющие те же функции, что и элементы другого, обозначены на рисунке одинаково и различаются только штрихом в обозначении (конденсаторы *C1* и *C1'*, диоды *VD1* и *VD1'* и т. д.). Предположим, что при первом включении полярность входного напряжения такова, что вывод *A* вторичной обмотки трансформатора отрицателен по отношению к выводу *B*. Тогда конденсатор *C1* через прямосмещенный диод *VD1* заряжается почти до амплитудного значения напряжения на вторичной обмотке трансформатора. В следующем полупериоде входное напряжение изменит полярность и точка *B* будет отрицательна по отношению к *A*, при этом происходит два процесса. Во-первых, открывается диод *VD2* и конденсатор *C2* заряжается через вторичную обмотку трансформатора, конденсатор *C1* и диод *VD2*. Напряжение на *C2* достигает практически удвоенной амплитуды входного напряжения. Во-вторых, на этом этапе работы начнет проводить диод *VD1'*, что приведет к заряду конденсатора *C1'* до амплитудного значения входного напряжения. Во время следующей отрицательной полуволны входного напряжения будет происходить процесс заряда конденсатора *C2'* через проводящий диод *VD2'*, конденсатор *C1'* и вторичную обмотку трансформатора. Напряжение на *C2'* увеличится до значения удвоенной амплитуды входного напряжения. Далее процессы чередуются следующим образом.

Во время проводящего состояния *VD2* напряжение на конденсаторе *C1* суммируется с напряжением на вторичной

обмотке трансформатора и обеспечивает заряд конденсатора *C2* до удвоенной амплитуды входного напряжения. В это же время проводящий диод *VD1′* обеспечивает заряд конденсатора *C1′*. При изменении полярности входного напряжения начинает проводить диод *VD2′*, а напряжение на конденсаторе *C1′* складывается с напряжением на вторичной обмотке трансформатора и обеспечивает заряд конденсатора *C2′* до удвоенной амплитуды входного напряжения. В то же время через проводящий диод *VD1* и вторичную обмотку трансформатора осуществляется заряд конденсатора *C1*.

Выводы

Рассмотренные в настоящей главе выпрямители представляют собой относительно простые электронные схемы. Использовав изложенный материал, можно сравнительно быстро и легко собрать простейший источник питания. Однако качество выходного напряжения выпрямителей таково, что непосредственное его использование для питания большинства интегральных схем недопустимо, так как не обеспечивает нормальную их работоспособность. Поэтому в одной из последующих глав будут рассмотрены стабилизаторы напряжения, являющиеся необходимым функциональным узлом устройств, используемых для питания электронных схем.

Здесь вы узнали, что выходное напряжение выпрямителей зависит как от используемой схемы выпрямителя, так и от трансформатора. Кроме того, вид фильтров, устанавливаемых на выходе выпрямителей, тоже определяет значение выходного напряжения. Таким образом, применяя один и тот же трансформатор, можно создавать выпрямители с различными уровнями выходных напряжений. Этот принцип широко применяется при проектировании источников питания для того, чтобы один и тот же трансформатор, являющийся наиболее дорогим компонентом, можно было успешно использовать в устройствах электропитания различного назначения.

Глава 3

КОМПОНЕНТЫ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

Прежде чем приступить к изучению способов построения практических схем устройств электропитания, необходимо иметь представление о компонентах, которые в них используются. К счастью, компоненты большинства источников питания вполне доступны, имеют небольшую цену и могут быть приобретены в различных магазинах радиотоваров. Правда, иногда может понадобиться элемент, для приобретения которого вы должны будете затратить определенные усилия. Однако это, скорее, исключение, чем правило.

Трансформаторы

Если какой-либо источник постоянного напряжения, получающий энергию от промышленной сети переменного тока, отождествить с живым организмом, то трансформатор можно будет считать его сердцем. Удивительно, но трансформатор сам по себе не может работать на постоянном токе. Выходное напряжение трансформатора — это всегда переменное напряжение, которое должно быть выпрямлено и стабилизировано с тем, чтобы на выходе устройства получить постоянное напряжение.

Самый простой трансформатор состоит из двух катушек, называемых обмотками трансформатора и намотанных проводом, покрытым изоляционным материалом, на одном сердечнике из магнитного материала, который называют магнитопроводом. Иногда каждая из обмоток располагается на своем сердечнике, однако всегда обеспечивается физическое взаимодействие магнитных полей, создаваемых обмотками, с тем чтобы энергию, подводимую к одной из обмоток, можно было передать в другую обмотку.

Основное назначение трансформатора определяется его названием: он трансформирует или преобразует значения напряжений, подводимых от внешних источников. Обмотки трансформатора называют первичной и вторичной. На рис. 3.1 условно показаны слева первичная обмотка, справа вторичная обмотка и в центре стальной сердечник. Во многих устройствах электропитания входным напряжением является сеть переменного тока с частотой 60 Гц и действующим значением напряжения 115 В. Первичная обмотка трансформатора воспринимает это напряжение, а на вто-

ричной обмотке появляется выходное напряжение меньшего или большего значения. В ряде случаев входное и выходное напряжения равны. Такие трансформаторы называют разделительными или изолирующими. Они применяются для предохранения различных видов оборудования от импульсных и иных видов помех, возникающих в сети пере-

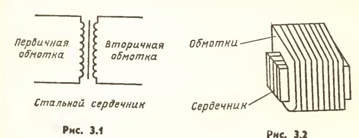


Рис. 3.1

Рис. 3.2

менного тока. Вообще говоря, по своему устройству любой трансформатор можно назвать изолирующим, так как обмотки трансформатора электрически не связаны между собой.

Чаще всего значение выходного напряжения в трансформаторах отличается от входного. Хотя в принципе выходное напряжение может иметь любое значение, однако выпускаемые промышленностью и предлагаемые покупателю сетевые трансформаторы имеют стандартные ряды, различающиеся уровнем выходного напряжения. Например, один из рядов содержит трансформаторы с выходным переменным напряжением, имеющим значения 6, 12, 20 и 40 В. В другом, часто встречающемся ряде трансформаторов значения выходных напряжений составляют 2,5; 5; 7,5 и 25 В. Эти трансформаторы являются понижающими, так как преобразуют напряжение 115 В в более низкий уровень.

Выходные напряжения в пределах от 115 до 400 В можно отнести к средним уровням, а напряжения от 500 до 1000 В — к высоким уровням напряжений. Термины «понижающий» и «повышающий» применительно к трансформаторам характеризуют основное функциональное назначение трансформатора как устройства, преобразующего уровни напряжений. Приведенные выше ряды трансформаторов, как уже указывалось, — это примеры понижающих трансформаторов. Трансформаторы с высокими и средними уровнями выходных напряжений относятся к разряду повышающих трансформаторов.

На рис. 3.2 схематически изображено устройство трансформатора со стальным сердечником. Собственно сердечник — это та часть магнитопровода, которая находится внутри обмоток. Внешняя часть магнитопровода представляет собой стальную планку, замыкающую между собой торцевые части сердечников. Магнитопровод собирается из отдельных тонких пластин специальной электротехнической стали (рис. 3.3), каждая из которых покрыта изолирующим составом. Сердечник обеспечивает магнитную связь обмоток друг с другом и увеличивает индуктивности обмоток. Существуют и другие магнитные материалы. Однако применение их в сетевых трансформаторах, работающих на частоте 60 Гц, привело бы к существенному увеличению размеров трансформаторов. Значения индуктивностей обмоток трансформаторов пропорциональны размерам трансформатора. Поэтому трансформаторы с большими размерами сердечников способны передавать большую мощность во вторичную цепь. Существуют трансформаторы, предназначенные для работы от сети с частотой переменного напряжения 400 Гц, применяемой в устройствах специального назначения. С увеличением частоты сети размеры трансформаторов, рассчитанных на передачу одной и той же мощности, уменьшаются. Иными словами, эффективность работы трансформатора увеличивается с ростом частоты. Здесь уместно предупредить читателя, которому окажется доступным приобретение подобных трансформаторов, что использование их в сети 60 Гц невозможно: они попросту не будут работать при таком переменном напряжении. Добавим также, что увеличение частоты промышленной сети нецелесообразно по энергетическим соображениям.

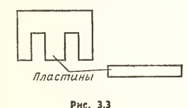


Рис. 3.3

Как уже говорилось, применение магнитных сердечников из электротехнической стали в сетевых трансформаторах оправдано, так как позволяет уменьшить их размеры по сравнению с трансформаторами, выполненными с использованием других магнитных материалов. Однако и здесь существуют свои проблемы. Дело в том, что при работе трансформатора в стальных пластинах, из которых собран его сердечник, наводятся токи, которые принято

называть вихревыми. Их наличие обусловливает потери энергии в сердечнике и ограничивает мощность, передаваемую во вторичную обмотку трансформатора. Другим фактором, влияющим на выходную мощность трансформатора, являются поперечные сечения проводов первичной и вторичной обмоток. Эти сечения должны выбираться так, чтобы нагрев провода вследствие протекания по нему тока не превышал допустимых значений. Перегрев ведет к увеличению сопротивления обмоток, что при заданном токе увеличивает выделяющуюся в ней мощность, а следовательно, и температуру. Перегрев может вызвать разрушение проводника или нарушение изоляции между витками обмоток трансформатора.

При конструировании трансформаторов всегда предпринимаются попытки сделать магнитопровод таким образом, чтобы длина магнитных силовых линий (линий магнитного потока), замыкающихся по магнитопроводу, была минимальной. Это дает возможность при заданных значениях напряжений уменьшить количество витков в обмотках. При этом уменьшается общая длина проводника и общее их сопротивление, что приводит к сокращению тепловых потерь и увеличению коэффициента полезного действия трансформаторов.

Параметры сетевых трансформаторов

Мощность, передаваемая трансформатором, зависит от ряда факторов, включающих в себя длину и поперечное сечение проводов обмоток, размеры магнитопровода, а также тип используемого выпрямителя и фильтра. Значение номинальной мощности трансформаторов определяется в ваттах или вольт-амперах. Чаще используется вторая из названных характеристик, которая определяется произведением действующего значения напряжения на вторичной обмотке на номинальный выходной ток. Например, при выходном напряжении 100 В и токе 1 А номинальная мощность примерно равна 100 Вт. В действительности мощность, подводимая к первичной обмотке от сети переменного тока, будет больше 100 Вт на значение потерь в трансформаторе. Обычно потери невелики и коэффициент полезного действия трансформаторов превышает 90 %.

В предыдущей главе мы с вами выяснили, что постоянное напряжение на выходе выпрямителей, а следовательно, мощность в нагрузке непосредственно связаны с видом ис-

пользуемого выпрямителя и фильтра. Применение фильтра с конденсаторным входом обусловливает высокое выходное напряжение, близкое по значению к амплитуде напряжения на вторичной обмотке, и приводит к появлению значительных импульсных токов в обмотках трансформатора, заметно превышающих ток нагрузки. Это может быть причиной перегрева обмоток трансформатора. При использовании фильтра с индуктивным входом указанные эффекты отсутствуют, что обеспечивает облегченный режим работы трансформатора. Таким образом, при одной и той же мощности в нагрузке использование фильтра с конденсаторным входом требует применения трансформатора с более высокой номинальной мощностью.

Некоторые трансформаторы имеют по одной первичной и вторичной обмотке. Это значит, что при заданном первичном напряжении выходное напряжение фиксировано и определяется отношением чисел витков обмоток. У других при наличии одной первичной обмотки есть несколько вторичных обмоток. Этот случай демонстрируется рис. 3.4,

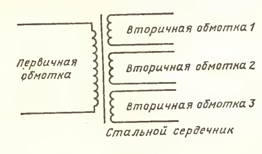


Рис. 3.4

где показаны три вторичные обмотки, первая из которых *1*, например, дает средний уровень выходного напряжения, вторая *2* — более высокий и третья *3* — низкий. Такая конструкция позволяет получить три источника постоянных напряжений, подключив к каждой из вторичных обмоток выпрямитель с фильтром.

Часто встречаются трансформаторы, имеющие одну первичную и одну вторичную обмотки, но вторичная обмотка разделена на несколько частей, от каждой из которых сделаны дополнительные отводы, выведенные наружу вторичной обмотки (рис. 3.5). Подчеркнем, что вторичная об-

мотка одна, а дополнительные выводы обеспечивают доступ к различному числу витков этой обмотки.

На рис. 3.6 показан широко распространенный тип трансформатора, называемый трансформатором с выводом средней (нулевой) точки. Вторичная обмотка в нем имеет один дополнительный отвод, разделяющий ее на две одинаковые полуобмотки. Если номинальное действующее значение выходного напряжения вторичной обмотки составляют 100 В, то выходное напряжение на каждой из полуобмоток равно 50 В. Такой трансформатор необходим для построения двухполупериодного выпрямителя с выводом нулевой точки, использование которого в нашем примере обеспечило бы получение около 50 В среднего выходного напряжения. К основным выводам вторичной обмотки можно подключить двухполупериодный мостовой выпрямитель, отключив при этом от схемы средний вывод. При тех же значениях напряжений выходное напряжение выпрямителя увеличилось бы вдвое.

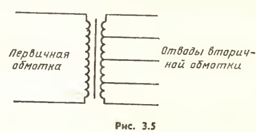


Рис. 3.5



Рис. 3.6

Из рассмотренного примера как будто бы следует, что использование мостового выпрямителя приводит к увеличению в 2 раза выходных показателей источника питания. Это, несомненно, так и есть, если говорить о значении среднего выпрямленного напряжения. Однако не следует забывать, что трансформатор рассчитан на определенную номинальную мощность, которая зависит как от тока, так и от напряжения. Если, например, эта мощность равна 50 Вт, то средний выходной ток двухполупериодного выпрямителя с выводом нулевой точки имеет максимальное значение 1 А

(50 В×1 А). Применяя и мостовой выпрямитель, мы не можем превысить номинальную мощность трансформатора. Это значит, что при выходном напряжении 100 В мы могли бы получить в нагрузке ток, не превышающий 0,5 А (0,5 А×100 В=50 Вт). Если мы при таком напряжении попытались бы получить выходной ток 1 А, то передаваемая трансформатором мощность увеличилась бы в 2 раза. Это на 100 % превосходит расчетную мощность трансформатора.

В ряде случаев от трансформатора можно получить и большую выходную мощность, чем та, на которую он рассчитан. Дело в том, что можно выделить два различных режима работы электронных устройств, а вместе с тем и трансформаторов, которые используются в источниках электропитания этих устройств. В первом режиме аппаратура постоянно включена и непрерывно потребляет энергию от источника питания. В этом режиме работы мощность, отдаваемая трансформатором, не может превышать номинальной. В противном случае возникает перегрев трансформатора, что приводит к выходу его из строя. Второй режим работы можно назвать старт-стопным. Здесь чередуются промежутки времени, когда аппаратура включена и выполняет свои функции, с временными интервалами, когда она отключена. Таким образом, трансформатор нагревается, когда включен, а затем охлаждается в выключенном состоянии. Если при этом не будет превышена средняя температура, при которой трансформатор может нормально функционировать, то он будет вполне способен передавать мощность, превышающую номинальное значение. Конечно же, трудно определить связь одного режима работы с другим. Например, 50-ваттный трансформатор вполне может обеспечить 100 Вт выходной мощности в старт-стопном режиме работы. Следует обычно рассчитывать на полуторакратное увеличение мощности. Это значит, что трансформатор с номинальной мощностью 50 Вт за средний промежуток времени, скорее всего, может передать 75 Вт без заметного ухудшения его параметров.

У нас вполне доступны для покупателей различные типы трансформаторов, составляющие неликвиды военной промышленности и выпускавшиеся для специальных применений. Хотя многие из них предназначены для работы с иными, чем в сетевых трансформаторах, уровнями напряжений и частот, имеется также множество трансформаторов для сетей переменного тока 115 или 230 В частотой 60 Гц. В большинстве случаев эти трансформаторы рассчитаны

с большим запасом. Поэтому вполне возможно превышение отдаваемой ими мощности вдвое по сравнению с номинальной без заметного перегрева или повреждений. Иногда можно получить от таких трансформаторов тройную номинальную мощность без каких-либо негативных последствий. В каждом конкретном случае прежде всего необходимо провести эксперимент, чтобы выяснить, чего же можно добиться от данного трансформатора. Типичным является положение, когда подобный трансформатор, рассчитанный, например, на 1 А среднего выходного тока в двухполупериодной схеме выпрямления с выводом нулевой точки, даст тот же 1 А на выходе, если к вторичной обмотке трансформатора подключить мостовой выпрямитель, обеспечивающий вдвое большее значение выходного напряжения. Разумеется, выходная мощность также возрастет в 2 раза. Напоминаем, что необходим предварительный эксперимент в целях определения падения напряжения на вторичной обмотке при увеличении мощности, при этом важно следить за температурой трансформатора на начальной стадии эксперимента.

Выводы первичных обмоток трансформаторов

Только что вы узнали, что у трансформатора может быть несколько вторнчных обмоток или несколько дополнительных отводов у одной вторичной обмотки. Таким же образом могут быть выполнены и первичные обмотки. На рис. 3.7

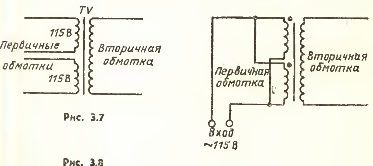


Рис. 3.7

Рис. 3.8

показан типичный трансформатор, имеющий две первичные обмотки, каждая из которых способна воспринимать 115 В действующего значения промышленной сети переменного

тока. Такой трансформатор может передавать полную мощность как от сети 115 В, так и от сети 230 В. В первом случае первичные обмотки соединяются параллельно так, как изображено на рис. 3.8, а во втором — последовательно (рис. 3.9). Каждая из обмоток имеет два вывода, а необходимое соединение осуществляется внешней коммутацией этих выводов.

В ряде случаев целесообразнее использовать сеть с более высоким уровнем напряжения, в особенности в устрой-

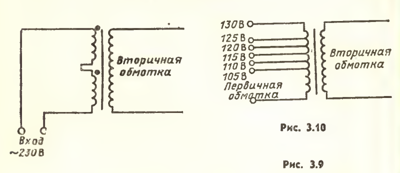


Рис. 3.10

Рис. 3.9

ствах с большой выходной мощностью, когда потребляемый от сети ток достаточно велик. Если, например, трансформатор обеспечивает питание устройства, потребляющего мощность 1000 Вт, то от сети с напряжением 115 В будет потребляться ток почти 10 А. Однако если напряжение сети равно 230 В, то при той же мощности потребляемый ток вдвое уменьшится (115 В$\times$10 А=1150 Вт; 230$\times$5 А=1150 Вт). Домашняя электропроводка рассчитана именно на ток 10 А, причем значение сетевого напряжения не играет никакой роли: при токе 10 А потери энергии в подводящих проводах будут одинаковы для той и другой сети. Поэтому в сети с напряжением 230 В при одной и той же мощности потери меньше, чем в сети с напряжением 115 В. Индикацией чрезвычайно большого потребления от сети у вас дома может служить мерцание электроламп.

На рис. 3.10 показано иное устройство первичной обмотки трансформатора, где одна обмотка имеет несколько дополнительных выводов. Обычно напряжение в бытовых сетях США равно 115 В. Это значение может изменяться в зависимости от местности и времени года. Летом, например, постоянно работающие воздушные кондиционеры, мо-

гут понизить напряжение сети. Они являются устройствами с большим уровнем потребления, а включение многих тысяч кондиционеров способно вызвать уменьшение напряжения сети в масштабах целого штата даже до 105 В. В иных местах напряжение сети может быть повышенным и достигать значений 125 или даже 130 В. Иногда подобные колебания не играют особой роли, но в ряде случаев они способны вызвать сбои в работе различных электронных устройств.

Изображенный на рис. 3.10 трансформатор помогает избежать проблем, связанных с изменением входного напряжения. Первичная обмотка содержит несколько дополнительных выводов, рассчитанных на определенный уровень входного напряжения так, чтобы выходное напряжение не изменялось. Например, входное напряжение 125 В должно подключаться между нижним выводом первичной обмотки и соответствующим дополнительным выводом. В холодный сезон вполне возможно использовать вывод для 105 В, если таков средний уровень, до которого уменьшается напряжение сети. И в том, и в другом случаях выходное напряжение остается практически без изменений. Подобное выполнение первичной обмотки часто используется в повышающих трансформаторах, предназначенных для коммерческих радиовещательных служб. Здесь используются трансформаторы большой мощности, и уменьшение входного напряжения способно вызвать заметное снижение эффективности передающих устройств. Следует на практике быть осторожным при использовании выводов первичной обмотки. Если сеть подключена, например, к выводу 105 В, а напряжение в ней почему-либо возросло до 130 В, то напряжение на вторичной обмотке возрастет на 30 % по сравнению с номинальным.

Способы включения трансформаторов

Мы уже говорили о том, что трансформатор является устройством переменного тока и поэтому первичная и вторичная обмотки в нем в определенном смысле взаимозаменяемы, а именно вторичная обмотка трансформатора может быть использована в качестве первичной, так же как первичная — в качестве вторичной. Под этим подразумевается, что трансформатор, первичная обмотка которого воспринимает 115 В переменного напряжения и преобразует их в 6 В на вторичной обмотке, может быть использован

одним из двух способов. Первый из них стандартный и состоит в подключении первичной обмотки к сети 115 В для получения выходного напряжения 6 В. Во втором случае сеть переменного тока с действующим значением напряжения 6 В, подключенная ко вторичной обмотке трансформатора, может быть преобразована в 115 В выходного напряжения на первичной обмотке. Во втором случае бывшая вторичная обмотка выступает как первичная, а бывшая первичная является вторичной. Подобное включение трансформатора показано на рис. 3.11 и может быть использовано тогда, когда вам необходимо получить выходное напряжение определенного значения, а у вас нет под рукой необходимого трансформатора. Пусть, например, необходимо 115 В преобразовать в 230, а вы имеете в наличии два понижающих трансформатора с выходным напряжением 12 В, один из которых рассчитан на 115 В входного напряжения, а другой — на 230 В. На рис. 3.12 показано, что к первичной обмотке первого трансформатора подводится сеть переменного тока с действующим значением напряжения 115 В, а его вторичная обмотка напрямую соединена с вторичной обмоткой второго трансформатора. Понятно, что на первичной обмотке второго трансформатора появится переменное напряжение 230 В. В конечном итоге такое соединение образует эквивалентный трансформатор, преобразующий 115 В входного напряжения в 230 В на выходе. Выходная обмотка первого трансформатора здесь играет роль источника энергии, подключенного к обмотке 12 В второго трансформатора, повышающего это напряжение до

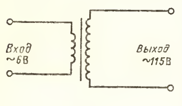


Рис. 3.11

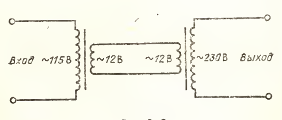


Рис. 3.12

230 В. Таков один из примеров различных способов включения обмоток трансформаторов. Выходная мощность рассмотренной схемы определяется тем из двух трансформаторов, который имеет наименьшую номинальную мощность. Предположим, что мощность трансформаторов одинакова и равна 12 Вт, т. е. при выходном напряжении 12 В выходной ток составляет 1 А. Поэтому в обмотке с напряжением 12 В трансформатора не может протекать ток, превышающий 1 А, даже если бы он был рассчитан на большую мощность. Максимальный выходной ток второго трансформатора примерно равен 50 мА, или 0,05 А (230 В×0,05 А= =11,5 Вт).

Последовательное и параллельное соединения трансформаторов

Выше мы рассматривали способы соединения первичных и вторичных обмоток многообмоточных трансформаторов. Как первичные, так и вторичные обмотки отдельно взятых двухобмоточных трансформаторов тоже можно соединять и последовательно, и параллельно для того, чтобы получить единое устройство, обладающее необходимыми качествами. Пусть, например, вам требуется трансформатор, преобразующий 230 В входного напряжения в ~6 В на выходе. Если вы имеете два трансформатора с нужным уровнем выходного напряжения, но рассчитанные на входное напряжение 115 В, то необходимое вам устройство можно сделать за несколько минут. Для этого первичные обмотки трансформаторов соединяются последовательно, а вторичные — параллельно так, как это показано на рис. 3.13. Следует заметить, что устройство работает эффективно, если используются идентичные трансформаторы. Такое соедине-

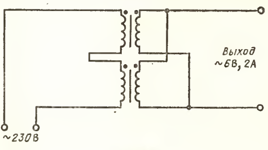


Рис. 3.13

ние эквивалентно одному трансформатору с входным напряжением 230 В, выходным 6 В и удвоенной по сравнению с одним трансформатором номинальной мощностью.

Обратите внимание, каким образом соединены выводы первичных и вторичных обмоток. До сих пор в этом не было необходимости: в схемах выпрямителей, приведенных в гл. 2, подключение выводов обмоток может быть произвольным и не оказывает влияния на работоспособность устройств, а в рассмотренных в настоящей главе соединениях обмоток многообмоточных трансформаторов мы молчаливо предполагали, что нам известно, какие пары выводов двух обмоток нужно объединять. Напомним, что точки, поставленные у одного из выводов каждой из обмоток, характеризуют направление намотки, от которого зависит полярность напряжения между выводами данной обмотки. Выводы, обозначенные точками, будем условно называть началами обмоток, а противоположные — концами обмоток. Полярности напряжений между началами и концами любых обмоток одного и того же трансформатора всегда одинаковы. Поэтому, если известна полярность напряжения на одной из обмоток трансформатора, то тем самым определена и полярность напряжения на любой другой обмотке. В многообмоточном трансформаторе, имеющем несколько одинаковых первичных и вторичных обмоток при параллельном соединении обмоток, как первичных, так и вторичных, необходимым условием нормальной работоспособности является объединение между собой одноименных выводов обмоток, когда начало одной обмотки подключено к началу другой, а также соединены концы этих обмоток (см. рис. 3.8); при последовательном включении, конец одной обмотки следует связать с началом второй (см. рис. 3.9). Отметим еще раз условность обозначения одноименных выводов обмоток: с равным успехом точки можно поставить у всех противоположных выводов обмоток одного и того же трансформатора.

При параллельном соединении вторичных обмоток двух одинаковых трансформаторов, показанном на рис. 3.13, нормальная работоспособность возможна тогда и только тогда, когда полярность напряжений, наводимых в этих обмотках, одинакова. Если предположить, что полярность входного напряжения такова, что начало верхней первичной обмотки положительно относительно конца нижней первичной обмотки, то в каждой первичной обмотке между началом и концом действует положительное напряжение, а значе-

ния этих напряжений равны 115 В. Поэтому между началами и концами вторичных обмоток полярность напряжений также положительна и схема функционирует правильно. Поскольку обмотки трансформаторов намотаны на раздельных магнитопроводах, а обозначение выводов обмоток условно, то в принципе любую из пар обмоток, первичных или вторичных, можно объединить произвольно. Например, можно соединить начало вторичной обмотки верхнего трансформатора с концом вторичной обмотки нижнего трансформатора и соответственно конец вторичной обмотки верхнего с началом вторичной обмотки нижнего. Но в этом случае для обеспечения нормальной работоспособности схемы необходимо изменить последовательность соединения первичных обмоток с тем, чтобы полярность напряжений между выводами параллельно включенных вторичных обмоток была одинаковой. Это достигается объединением одноименных выводов первичных обмоток трансформатора: начало одной обмотки соединяется с началом другой, либо конец одной с концом другой. К паре не соединенных между собой выводов первичных обмоток подводится входное напряжение.

В стандартных трансформаторах, выпускаемых промышленностью, одноименные выводы обмоток всегда обозначены. Если по каким-либо причинам они неизвестны, то их можно определить, поставив простой эксперимент, схема которого изображена на рис. 3.14, *а*. Здесь входное напряжение подается на последовательно соединенные первичные обмотки двух одинаковых трансформаторов *TV1* и *TV2*, а на выходе, образованном последовательным соединением вторичных обмоток, включен вольтметр переменного напряжения. В зависимости от направления включения обмоток может быть два случая: вольтметр показывает какое-то напряжение или напряжение на выходе равно нулю. Первый случай свидетельствует о том, что и в первичной, и во вторичной цепях объединены между собой разноименные выводы соответствующих обмоток. В самом деле, напряжение на каждой из первичных обмоток равно половине входного и трансформируется во вторичные обмотки с одинаковыми коэффициентами трансформации. При указанном включении вторичных обмоток напряжения на них суммируются и вольтметр дает удвоенное значение напряжения каждой из обмоток. Нулевое показание вольтметра свидетельствует о том, что равные по значению напряжения на последовательно включенных вторичных обмотках

трансформаторов имеют противоположные знаки и, следовательно, какая-либо из пар обмоток объединена одноименными выводами. В этом случае, изменив, например, после-

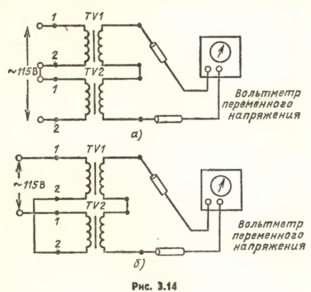


Рис. 3.14

довательность соединения выводов первичных обмоток так, как это показано на рис. 3.14, *б*, получим на выходе удвоенное значение выходного напряжения каждой из вторичных обмоток и можно будет считать, что обмотки трансформатора соединены разноименными выводами. Очевидно, что такой же результат можно получить изменив последовательность соединения выводов вторичных обмоток.

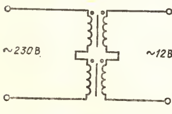


Рис. 3.15

Рассмотренное устройство практично использовать для удвоения уровня выходного напряжения путем последовательного соединения обмоток при объединении их разноименных выводов. Такое устройство, изображенное на рис. 3.15, принимает 230 В входного напряжения, преобразуя его в 12 В выходного. Если необходимо, чтобы оно ра-

ботало от сети 115 В и давало на выходе 12 В, то, сохранив последовательное включение вторичных обмоток, нужно соединить параллельно первичные обмотки, объединив их одноименные выводы.

Если требуется увеличить выходную мощность при сохранении значений входного и выходного напряжений, то можно использовать схему, показанную на рис. 3.16. Каждый из трансформаторов имеет входное напряжение 115 В, выходное напряжение равно 12 В при номинальном токе 1 А. Соединив одноименные выводы первичных и вторичных обмоток, получим устройство, в котором при тех же значениях напряжений номинальное значение выходного тока составит 2 А. Для получения еще более мощного выхода можно соединить подобным же образом несколько трансформаторов, если только это позволяют сделать практические размеры устройства.

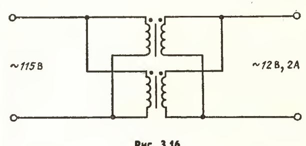


Рис. 3.16

Таким образом, последовательное соединение вторичных обмоток обеспечивает увеличение уровней выходного напряжения и мощности при сохранении номинального выходного тока. В самом деле, если вторичные обмотки каждого из трансформаторов рассчитаны, например, на 6 В выходного напряжения при номинальном токе 1 А, то при их последовательном соединении значение номинального тока сохраняется, а мощность увеличивается вдвое, так как в 2 раза возрастает выходное напряжение. При параллельном соединении вторичных обмоток в указанном выше примере выходное напряжение было бы равно 6 В, но выходной ток при этом вырос бы в 2 раза. В любом случае происходит увеличение выходной мощности до 12 Вт.

Работа трансформаторов при пониженном входном напряжении

Выходное напряжение на вторичных обмотках стандартных трансформаторов определяется исключительно значением входного напряжения. Выше было отмечено, что уменьшение напряжения в сети переменного тока, так же как и его увеличение, может привести к нарушениям нормальной работы электронных устройств, питаемых этой сетью. Если выходное напряжение падает на 10 %, то на те же 10 % уменьшается выходное напряжение. То же происходит при росте входного напряжения. Такая прямо пропорциональная зависимость между уровнями входного и выходного напряжений в некоторых случаях может использоваться. Если, например, трансформатор, рассчитанный на 230 В входного напряжения, дает на выходе 12 В, то при питании от сети 115 В выходное напряжение будет равно 6 В. Аналогично этому обычный выпрямитель, запитываемый от сети 230 В и обеспечивающий на выходе постоянное напряжение 12 В, при использовании сети 115 В даст на выходе 6 В постоянного напряжения. Таким образом, если вы имеете доступ и к одной, и к другой сетям переменного тока, то, использовав одно и то же устройство выпрямления, можете получить два различных уровня выходного напряжения. Следует особо оговориться, что обратным образом поступать нельзя: хотя трансформатор, рассчитанный на 230 В входного напряжения, можно подключать к сети 115 В, но трансформатор с первичным напряжением 115 В недопустимо включать в сеть 230 В. Одно из устройств электропитания, рассмотренное в последней главе, использует описанное выше преимущество трансформатора с более высоким уровнем входного напряжения.

Все трансформаторы в приведенных ниже источниках электропитания получают энергию от однофазных сетей переменного тока с номинальными значениями напряжений 115 или 230 В. В мощных промышленных устройствах используются многофазные сети переменного тока и многофазные трансформаторы, выполненные специальным образом. Однако рассмотрение подобных устройств выходит за рамки материала, излагаемого в данной книге.

Полупроводниковые выпрямители

Основные схемы выпрямителей как устройств, проводящих ток в одном направлении, мы с вами уже рассмотрели. Важнейшими элементами этих устройств, которые собственно и обладают способностью проводить ток в одном направлении, являются полупроводниковые диоды. Поэтому термином «выпрямитель» часто называют как ту или иную схему выпрямления переменного напряжения, так и отдельно взятый полупроводниковый диод или совокупность последовательно или параллельно соединенных диодов. В настоящее время полупроводниковые диоды почти полностью заменили применявшиеся несколько десятилетий назад ламповые диоды. В отличие от ламповых полупроводниковые выпрямители не требуют цепей накала, имеют меньшие размеры и очень просто соединяются различным образом.

Основными параметрами диодов, которые необходимо знать при разработке выпрямителей для источников питания, являются максимальное обратное напряжение ($U_{обр}$) и постоянный прямой ток ($I_{пр}$). Последний из них легко можно определить, если известно, какой ток потребляет схема, к которой подключен диод. Немного увеличьте его значение для обеспечения надежной работы, и вы получите значение параметра $I_{пр}$. Например, если источник питания должен обеспечивать на выходе ток 600 мА, следует выбрать диоды со значением $I_{пр}$, равным 1 А (1000 мА).

Максимальное обратное напряжение зависит как от напряжений на вторичных обмотках трансформатора, так и от типа используемой схемы выпрямления. Для демонстрации этого положения на рис. 3.17 показаны три основные схемы выпрямления с конденсаторными фильтрами. Как уже говорилось, напряжение на конденсаторе фильтра почти равно амплитудному значению входного напряжения, которое больше действующего значения (U) входного напряжения в 1,4 раза. Для всех приведенных схем выходное напряжение положительно. В однополупериодном выпрямителе в непроводящем состоянии диода напряжение на аноде диода относительно корпуса отрицательно и достигает амплитуды входного напряжения, а напряжение на катоде диода в это время положительно и также равно амплитуде входного напряжения. Поэтому обратное напряжение на диоде в 2,8 раза превосходит действующее значение входного напряжения. С запасом, обеспечивающим надеж-

ность работы, в этой схеме необходимо использовать диоды с максимальным обратным напряжением, в 3 раза большим, чем входное напряжение выпрямителя. Если, например, оно равно 12 В, то диод следует выбирать с максимальным обратным напряжением не ниже 36 В. У диодов, выпускаемых промышленностью для источников электропитания, минимальное значение этого параметра обычно равно 50 В. Оно более чем достаточно в нашем конкретном случае.

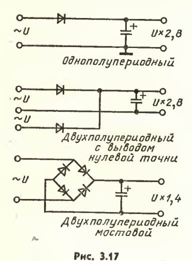


Рис. 3.17

Двухполупериодный выпрямитель с выводом нулевой точки также требует применения диодов с максимальным обратным напряжением, в 2,8 раза превышающим действующее значение входного напряжения. Этот вывод может показаться вам несколько отличным от того, о чем мы говорили, рассматривая в гл. 2 работу выпрямителя. Там мы оперировали с полным входным напряжением на вторичной обмотке трансформатора, которое в 2 раза больше, чем напряжения каждой из полуобмоток. Однако если сравнивать выпрямители с одними и теми же значениями выходного напряжения, то входное напряжение однополупериодного выпрямителя и напряжение на вторичной полуобмотке трансформатора в выпрямителе с выводом нулевой точки должны совпадать. Если же пользоваться значением полного напряжения на вторичной обмотке для определения обратного напряжения на диоде во второй из схем, то это значение необходимо увеличить в 1,4 раза.

В двухполупериодном мостовом выпрямителе максимальное обратное напряжение используемых диодов должно в 1,4 раза быть больше входного напряжения, так как в каждом из полупериодов работы выпрямителя обратное напряжение, равное сумме выходного напряжения (1,4 U) и амплитуды входного напряжения (1,4 U), перераспределяется между двумя непроводящими диодами.

Если допустить, что все рассмотренные выпрямители рассчитаны на одинаковый уровень выходного напряжения, а напряжения на вторичных обмотках трансформаторов первой и третьей из них, а также полуобмотках трансформатора второй схемы равны 12 В, то в первых двух выпрямителях необходимо использовать диоды с максимальным обратным напряжением не ниже 36 В, а в третьей — не ниже 17 В. Таким образом, любая из этих схем может быть реализована с помощью диодов с максимальным обратным напряжением 50 В.

Последовательно или параллельно включенные диоды можно рассматривать как единый выпрямитель, у которого один из основных параметров возрастает пропорционально числу используемых диодов. Для увеличения $U_{обр}$ применяется последовательное включение диодов. Это демонстрирует рис. 3.18, где три диода с максимальным обратным

$U_{обр}$=50 В $U_{обр}$=50 В $U_{обр}$=50 В

Общее обратное напряжение 150 В

Рис. 3.18

напряжением 50 В каждый включены согласно в последовательную цепь, не препятствующую протеканию прямого тока. В результате получается выпрямитель с максимальным обратным напряжением 150 В. Постоянный прямой ток при этом не изменяется. Если каждый из диодов имеет номинальный ток 1 А и $U_{обр}=50$ В, то результирующий выпрямитель может обеспечить тот же ток, но при $U_{обр}=$ $=150$ В.

Последовательное соединение диодов используется очень часто. Компоненты с $U_{обр}=1000$ В весьма распространены и недороги. Однако с дальнейшим увеличением $U_{обр}$ цены за каждый отдельно взятый диод заметно возрастают. Если, например, цена диода с $U_{обр}=3000$ В находится в пределах 10 дол., то диоды с $U_{обр}=1000$ В вполне можно приобрести по цене, не превышающей 50 центов за штуку. Поэтому весьма практично использовать последовательное соединение диодов для увеличения обратного напряжения.

Существует большое разнообразие диодов, рассчитанных на самые различные токи, начиная от долей ампера

и кончая несколькими сотнями или даже тысячами ампер. Поэтому параллельное соединение диодов, увеличивающее общий прямой ток, за редким исключением, не применяется на практике. Если несколько диодов включены параллельно, то общий прямой ток возрастает. На рис. 3.19 параллельно соединены три диода, каждый из которых имеет те же параметры, как и в примере последовательного соеди-

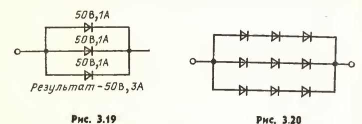


Рис. 3.19

Рис. 3.20

нения, т. е. прямой ток каждого из диодов равен 1 А, а максимальное обратное напряжение 50 В. Результирующий выпрямитель при $U_{обр}=50$ В сможет обеспечить ток 3 А. Обратите внимание, что прямой ток возрастает пропорционально числу параллельно включенных диодов, а обратное напряжение не изменяется.

Возможно использование и комбинированного — последовательно-параллельного соединения диодов. Пример такого соединения показан на рис. 3.20, где все диоды рассчитаны на прямой ток 1 А и $U_{обр}=50$. Здесь имеются три параллельно соединенные цепи, каждая из которых состоит из трех последовательно включенных диодов. Результирующий выпрямитель будет обеспечивать выходной ток 3 А и иметь максимальное обратное напряжение 150 В. Представляется очевидным, что стоимость девяти компонентов, необходимых для создания этой схемы, была бы выше цены одного диода с параметрами $I_{пр}=5$ А, $U_{обр}=200$ В. На рынке неликвидов последний можно приобрести менее чем за 1 дол. Даже если бы вы смогли купить диоды по нескольку центов за штуку, то и в этом случае собирать девять диодов нецелесообразно, так как гораздо проще установить один диод. Более того, использование девяти диодов даже увеличит стоимость выпрямителя, так как нормальная работоспособность последовательно и параллельно включенных диодов требует применения дополнительных компонентов, обеспечивающих равномерные распределения напряжений и токов.

Выравнивающие компоненты

Характеристики отдельных полупроводниковых диодов, даже одного и того же типа, всегда несколько отличаются друг от друга. Это обстоятельство необходимо учитывать при последовательном и параллельном соединении диодов. Любой диод обладает некоторым внутренним сопротивлением, имеющим существенно различные значения в проводящем и непроводящем состояниях. Например, при прямом смещении диода падение напряжения на его внутреннем сопротивлении составляет около 0,3 В. При последовательном соединении диодов важную роль играет их обратное сопротивление. Даже в диодах одной партии они различаются, и наиболее качественные диоды обладают большим обратным сопротивлением. В случае обратного смещения последовательно включенных диодов обратное напряжение распределяется по диодам неравномерно, и наибольшее обратное напряжение будет на том из них, который обладает более высоким обратным сопротивлением. Это может привести к пробою диода. Для предотвращения такой ситуации каждый из последовательно соединенных диодов шунтируют маломощным высокоомным резистором так, как это изображено на рис. 3.21. Типичное значение сопротивлений резисторов в выпрямителях небольшой мощности равно около 470 000 Ом (470 кОм). Такое включение приводит к выравниванию обратных напряжений на диодах.

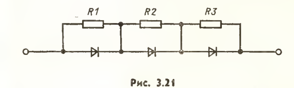


Рис. 3.21

В переходных режимах, когда выпрямители либо включают, либо отключают от сети, возможно появление всплесков обратного напряжения, которые имеют небольшую длительность, но заметно превосходят значения обратных напряжений в установившемся режиме работы. Эти всплески могут привести к пробою диодов. Для предотвращения пробоя диодов в этом случае используются керамические конденсаторы, устанавливаемые параллельно с каждым диодом в последовательном соединении (рис. 3.22). Емкости конденсаторов одинаковы и равны примерно 0,01 мкФ,

а напряжение, которое должен выдерживать конденсатор, составляет 1000 В.

Теперь становится понятным, что стоимость выпрямителя, состоящего из последовательно соединенных диодов, возрастает. Однако цена выравнивающих компонентов

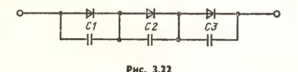


Рис. 3.22

обычно невелика, и выгоднее использовать, например, последовательное включение трех диодов с обратным напряжением 1000 В, чем использовать один диод на 3 кВ. Применительно к параллельному соединению диодов такой вывод не окажется верным.

При параллельном соединении диодов возникает потребность в установке резисторов последовательно с каждым из параллельно соединенных диодов (рис. 3.23). Если таковые отсутствуют, то общий прямой ток, обеспечиваемый группой параллельно соединенных диодов, будет распределен между диодами неравномерно: наибольшая часть тока будет протекать через диод, обладающий наименьшим сопротивлением в прямом направлении. Сопротивления последовательно включенных резисторов невелики и выбираются так, чтобы падения напряжений на них не превышали 1 В при протекании через диоды номинальных прямых токов, т. е. при токе 1 А сопротивление не превышает 1 Ом. Следует заметить, что стоимость некоторых низкоомных резисторов может даже превышать стоимость диодов.

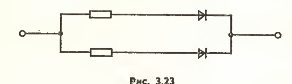


Рис. 3.23

Заметно увеличивается стоимость при последовательно-параллельном соединении диодов, снабженном компонентами, обеспечивающими выравнивание как обратных на-

пряжений, так и прямых токов. Типичная схема такого соединения показана на рис. 3.24.

Таким образом, если последовательное соединение диодов, осуществляемое для получения высокого уровня выходного напряжения, может оказаться вполне целесообразным, то параллельное соединение, обеспечивающее увеличение выходного тока, не является эффективным вследствие наличия разнообразных типов дешевых мощных диодов, рассчитанных на большие прямые токи. Поэтому вам редко придется прибегать к параллельному соединению диодов и преодолевать сложности, связанные с обеспечением таких соединений.

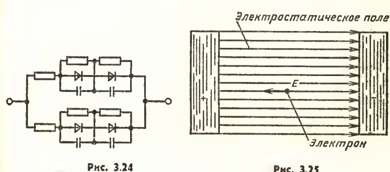


Рис. 3.24

Рис. 3.25

Емкость

Емкость можно определить как свойство электрического компонента или схемы, препятствующее изменению напряжения на нем. Емкость служит также мерой способности двух проводящих поверхностей, разделенных между собой непроводящим материалом (диэлектриком), накапливать электрический заряд. Такие компоненты используются в электрических цепях для накопления заряда под действием сил электрического поля и называются конденсаторами (чем больше емкость конденсатора, тем больше накапливаемый заряд).

Простейший конденсатор, изображенный на рис. 3.25, состоит из двух металлических пластин, разделенных воздушным пространством. Пластины называют обкладками конденсатора. Одна из обкладок заряжена положительно, а другая отрицательно. Силовые линии электростатического

поля начинаются на положительных зарядах, а заканчиваются на отрицательных. Свободный электрон, попав в пространство между пластинами, будет двигаться к положительно заряженной пластине, т. е. против силовых линий поля. Напротив, движение свободного положительного заряда совпадает с направлением силовых линий. Воздух, заполняющий пространство между обкладками конденсатора, состоит из атомов, имеющих положительно заряженные ядра, вокруг которых по определенным орбитам вращаются связанные с атомом электроны. Эти электроны не могут свободно перемещаться в пространстве между обкладками под действием сил электростатического поля. Поэтому результатом воздействия поля будет деформация электронных орбит.

Связанные электроны притягиваются к положительной обкладке и отталкиваются от отрицательной. Эффект воздействия поля показан на рис. 3.26, где изображен атом с электронными орбитами при отсутствии зарядов на обкладках конденсатора (рис. 3.26, *а*), и атом с орбитами, деформированными под действием сил электрического поля (рис. 3.26, *б*). Поскольку для деформации электронных орбит необходимо затратить определенную энергию, то, очевидно, что источником этой энергии является электростатическое поле, передающее ее электронам каждого из атомов, находящихся между заряженными обкладками конденсатора. Согласно закону сохранения энергии затраченная на деформацию электронных орбит энергия выделяется или отдается конденсатором, если орбиты электронов в атомах возвращаются в исходное состояние. Этот эффект аналогичен эффекту накапливания энергии в растянутой (или сжатой) пружине. Таким образом, конденсатор является накопителем энергии.

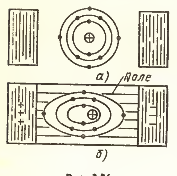


Рис. 3.26

На рис. 3.27, *а* схематически показано устройство конденсатора и дано условное обозначение, принятое для изображения конденсаторов в схемах (рис. 3.27, *б*). В общем случае пространство между проводящими пластинами заполнено диэлектриком. Обратите внимание, что условное

обозначение конденсаторов совпадает с внешним видом плоского конденсатора. На практике форма обкладок может быть самой разнообразной (круглой, прямоугольной и т. п.).

Однако во всех случаях поперечное сечение (или площадь) обкладок конденсатора несоизмеримо больше по-

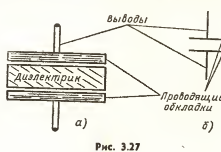


Рис. 3.27

перечного сечения выводов от этих обкладок. Поэтому каждая из пластин обладает громадным количеством свободных электронов. Если обкладки и их поперечные сечения одинаковы, то и количества свободных электронов в них примерно одинаковы. Следует отметить, что увеличение различия в заряде обкладок может настолько увеличить напряженность поля между обкладками, что это вызовет ионизацию диэлектрика (освобождение связанных электронов). Это ограничивает значение заряда, который может быть накоплен в конденсаторе. В некоторых типах конденсаторов существует ограничение на полярность напряжения, а следовательно, и заряда, который может накапливаться на той или иной пластине. Как правило, отрицательно заряженная обкладка таких конденсаторов имеет непосредственный контакт с металлическим корпусом, в котором заключен конденсатор.

В условных обозначениях подобных конденсаторов, называемых полярными конденсаторами, положительная обкладка снабжена знаком +.

Единицей измерения емкости является фарада. Это название—дань памяти известному ученому Фарадею, который на заре развития электричества проводил многочисленные опыты с электричеством и магнетизмом. Было обнаружено, что для данного значения емкости остается постоянным отношение заряда, накопленного в конденсато-

ре, к значению напряжения, приложенного к обкладкам конденсатора и являющегося причиной перемещения зарядов. Это отношение и определяет значение емкости конденсатора. Емкость равна 1 Ф, если напряжение, изменяющееся на конденсаторе со скоростью 1 В в секунду, вызывает зарядный ток конденсатора в 1 А. В электронных схемах конденсаторы обозначаются латинской буквой *C*. При этом емкость конденсатора, Ф

$$C = i/(\Delta u/\Delta t),$$

где i — ток, протекающий через конденсатор, А; $(\Delta u/\Delta t)$ — скорость изменения напряжения на конденсаторе, В/с.

Заряд конденсатора. Для того чтобы лучше понять работу конденсатора в сочетании с другими компонентами электронных схем, рассмотрим процессы, происходящие при заряде и разряде конденсатора. Для простоты будем считать, что источник напряжения и конденсатор, показанные на рис. 3.28, являются идеальными, т. е. их внутренние

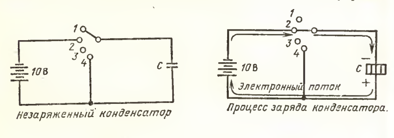


Рис. 3.28 Рис. 3.29

сопротивления равны нулю, хотя это реально и недостижимо на практике.

Одна из пластин незаряженного конденсатора подключена к общему выводу четырехпозиционного переключателя. В позиции *1* цепь разомкнута и напряжение на конденсаторе равно нулю. Поэтому каждая обкладка конденсатора нейтральна, и пока разность потенциалов между пластинами равна нулю, электрическое поле между обкладками отсутствует.

Для того чтобы зарядить конденсатор, переключатель необходимо установить в положение *2*, в котором обе обкладки конденсатора подключены к зажимам батареи. В данных условиях конденсатор мгновенно зарядится. Однако и здесь мы рассмотрим протекание этого явления во

времени с тем, чтобы можно было проследить последовательность происходящих процессов.

Установка переключателя в позицию *2* (рис. 3.29) вызывает перемещение электронов с верхней обкладки конденсатора через источник на нижнюю. Во внешней по отношению к источнику постоянного тока цепи поток электронов направлен от отрицательного полюса источника к положительному. Амперметром, установленным последовательно в цепь, этот поток воспринимается как короткий всплеск тока, протекающего в цепи во время заряда конденсатора.



Рис. 3.30

Если было бы возможно проследить за движением каждого отдельно взятого электрона, то вы увидели бы следующую картину (рис. 3.30). После подключения источника его положительный полюс притягивает электрон с нижней обкладки конденсатора, что при постоянной разности потенциалов между полюсами источника вызывает появление электрона, двигающегося от отрицательного полюса к верхней обкладке конденсатора. Таким образом во всех участках цепи возникает лавинообразно нарастающий поток электронов, двигающихся по направлению движения часовой стрелки. Напомним, что техническое направление тока соответствует направлению движения положительных зарядов, происходящего под действием сил электрического поля. Поэтому направление тока заряда конденсатора, показанное на рис. 3.30, противоположно движению электронов.

Поскольку электроны накапливаются на верхней обкладке конденсатора и уходят с нижней, то между обкладками возникает разность потенциалов. Каждый электрон, накапливаемый на верхней обкладке, делает ее все более отрицательной, в то время как каждый из электронов, уходящих с нижней обкладки, приводит к тому, что она становится все более положительной. Обратите внимание, что при обходе последовательной цепи заряда полярности напряжений на источнике напряжения и конденсаторе противоположны. Источник напряжения обусловливает протекание тока во внешней цепи против часовой стрелки, в то время как полярность напряжения на конденсаторе такова,

что стремится вызвать ток во внешней цепи, замыкающийся в направлении движения часовой стрелки. В процессе заряда напряжение на конденсаторе увеличивается до тех пор, пока не станет равным напряжению источника питания. Эти напряжения уравновешивают друг друга, и ток в цепи прекращается.

Следует подчеркнуть, что в процессе заряда конденсатора движение свободных зарядов между обкладками конденсатора отсутствует, так как материал между обкладками является диэлектриком. Однако если бы вы были наблюдателем, находящимся в любом участке проводящей цепи, то увидели бы движение зарядов, т. е. протекание электрического тока, хотя путь для протекания тока внутри конденсатора отсутствует. Точно так же воспринимается этот ток, называемый током смещения, любыми внешними по отношению к конденсатору цепями.

Для более наглядного представления процессов, происходящих при заряде конденсатора, последний можно сравнить с механической системой, показанной на рис. 3.31. На рис. 3.31, *а* изображен металлический цилиндр, содержащий гибкую резиновую мембрану, перегораживающую цилиндр. Цилиндр заполнен шарами слева и справа от мембраны. Если, затратив определенное усилие, ввести в цилиндр слева от мембраны еще один шар, то мембрана растянется (рис. 3.31, *б*) и вытолкнет с правой стороны ци-

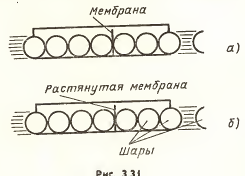


Рис. 3.31

линдра один шар. Поскольку внутреннее содержание цилиндра скрыто от глаз, то будет создаваться впечатление, что шар, введенный в цилиндр слева, прошел через него и вышел справа. Каждому вновь введенному слева шару будет соответствовать шар, выходящий справа.

С каждым из вновь слева вводимых в цилиндр шаров будет возрастать усилие, необходимое для совершения этого действия: если ввести слишком много шаров, то мембрана в конце концов лопнет и через цилиндр можно будет совершенно беспрепятственно провести какое угодно количество шаров.

Нечто похожее происходит и в конденсаторе, когда напряжение на нем увеличивается. Существует некоторый предел напряжения, превышение которого приводит к пробою диэлектрика и короткому замыканию между обкладками. В большинстве случаев этот пробой является необратимым явлением и вынуждает производить замену конденсатора.

Если конденсатор полностью заряжен, то значение возникающей на нем противо-ЭДС равно напряжению источника питания, напряженность поля между пластинами и энергия, накопленная в конденсаторе, будут максимальны.

При переводе переключателя в положение *3* (рис. 3.32) конденсатор отключается от источника питания и верхняя

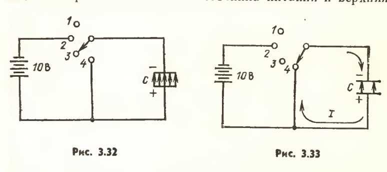


Рис. 3.32

Рис. 3.33

обкладка его, заряженная отрицательно, оказывается изолированной. Благодаря сильному отражательному эффекту ни один из электронов верхней обкладки не сможет попасть к положительной обкладке. Таким образом, отключенный от зарядной цепи изолированный конденсатор остается заряженным неопределенно долгое время. Здесь следует отметить, что диэлектрик, как правило, не идеальный изолятор, а имеет конечную проводимость. Поэтому всегда существуют токи утечки, которые в конечном итоге разрядят конденсатор. Качественные конденсаторы могут сохранять заряд в течение нескольких месяцев.

Коротко резюмируем сказанное выше. При подключении

конденсатора к источнику напряжения протекает импульс зарядного тока. Этот ток вызывает появление на конденсаторе противо-ЭДС, направленную навстречу источнику напряжения. В полностью заряженном конденсаторе противо-ЭДС равна напряжению входного источника, а ток заряда равен нулю, при этом напряженность поля в диэлектрике и накопленная энергия максимальны. Если заряженный конденсатор отключить от источника, то некоторое время заряд будет сохраняться. Длительность этого промежутка времени зависит от значения тока утечки конденсатора. Поскольку заряженный конденсатор обладает определенным запасом энергии, он может действовать как источник напряжения.

Разряд конденсатора. При разряде конденсатора происходит нейтрализация зарядов на его обкладках. Для этого необходимо создать проводящую цепь между обкладками конденсатора (рис. 3.33). После установки переключателя в положение *4* электроны перетекают с отрицательной обкладки на положительную. Это означает, что разрядный ток протекает в цепи по направлению движения часовой стрелки. После разряда конденсатора деформированные орбиты электронов в атомах диэлектрика возвращаются в исходное состояние, отдавая запасенную энергию во внешнюю цепь. Таким образом, конденсатор в процессе разряда выполняет роль источника энергии, отдавая во внешнюю цепь энергию, полученную им в процессе заряда от источника питания.

Факторы, влияющие на емкость конденсатора. Площадь обкладок. Для уяснения связи емкости конденсатора с площадью обкладок сравним два конденсатора, имеющих обкладки с различной площадью. На рис. 3.34 показан плоский конденсатор с относительно малым размером пластин, подключенный к источнику напряжения 10 В.

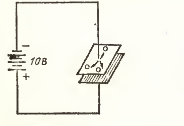


Рис. 3.34

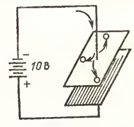


Рис. 3.35

На рисунке показано три электрона, перешедших на верхнюю обкладку с отрицательного полюса источника питания. Поскольку площадь обкладки мала, то расстояния между зарядами относительно невелики и между ними действуют значительные силы отталкивания, так как все заряды имеют одинаковый знак (отрицательный). Эти же силы препятствуют поступлению исполнительных электроиов от источника питания. Напомним, что емкость определяется отиошением накопленного заряда к приложенному напряжеиию ($C=Q/E$), поэтому рассмотрениый кондеисатор имеет относительно малую емкость. Если площадь обкладок больше, как это показано на рис. 3.35, то взаимное отталкивание между электронами уменьшается и, следовательно, противо-ЭДС, обусловленная тем же количеством электронов, будет меньше, чем в первом случае. В связи с этим при одиом и том же иапряжении источника питаиия количество электроиов на верхней обкладке увеличится, что озиачает увеличеиие емкости конденсатора. Таким образом, емкость прямо пропорциоиальна площади обкладок: увеличение вдвое площади обкладок приводит к такому же увеличеиию емкости конденсатора.

Р а с с т о я и и е м е ж д у о б к л а д к а м и. При изменении расстояния между обкладками изменяется и емкость коиденсатора. Уменьшение расстояния ведет к увеличению емкости. Это положение иллюстрирует рис. 3.36, где изображены коиденсаторы, имеющие одинаковые обкладки, расположенные на различных расстояниях друг от друга.

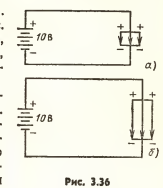


Рис. 3.36

В результате относительно близкого расположеиия обкладок (рис. 3.36, *а*) взаимодействие между положительиыми и отрицательными зарядами оказывается достаточно сильиым для того, чтобы положительные заряды верхией обкладки смогли частичио скомпенсировать отталкивающий эффект электронов нижией обкладки. Поэтому иа иижнюю обкладку сможет поступить некоторое дополнительиое количество электронов от источника питаиия. Аиалогично этому частично компенсируется поле положительных зарядов верхней обкладки, что позволяет источнику питания забрать такое же допол-

нительное количество электронов с верхней обкладки, увеличив тем самым ее положительный заряд. Если же обкладки расположены на относительно большом расстоянии, то взаимодействие между зарядами верхней и нижней обкладок уменьшается, что при одном и том же напряжении источника питания ведет к уменьшению накопленного заряда. Таким образом, приведенный пример иллюстрирует, что емкость обратно пропорциональна расстоянию между обкладками: чем больше расстояние между пластинами, тем меньше емкость.

Материал диэлектрика. Как мы уже знаем, между обкладками конденсатора расположен изолирующий слой, выполненный из того или иного диэлектрического материала. Значение емкости конденсатора существенно зависит от типа используемого диэлектрика. Опытным путем установлено, что плоские обкладки определенного размера, расположенные на определенном расстоянии друг от друга, обладают наименьшей емкостью, если между ними находится вакуум. Если в пространство между ними поместить непроводящий материал, например стекло, то емкость возрастет. Применение некоторых современных керамических диэлектриков может привести к увеличению емкости в сотни раз. Это свойство диэлектриков количественно характеризуется физической константой, которую называют диэлектрической проницаемостью. Ее значение показывает, во сколько раз увеличивается емкость конденсатора с данным типом диэлектрика по сравнению с емкостью конденсатора, обкладки которого находятся в вакууме.

Ниже даны диэлектрические проницаемости различных материалов.

Материал	Проницаемость, k
Вакуум	1,0000
Воздух	1,0006
Парафинированная бумага	3,5
Стекло	5—10
Слюда	3—6
Резина	2,5—35
Дерево	2,5—8
Глицерин (15 °С)	56
Нефть	2
Дистиллированная вода	81

Обратите внимание на диэлектрическую проницаемость вакуума. Вакуум является как бы стандартным эталоном диэлектриков, поэтому ему приписана проницаемость, рав-

ная единице, и все остальные, по сути дела, соотносятся с ней. Диэлектрическая проницаемость воздуха почти не отличается от вакуума, и ее тоже можно считать равной единице. Значение емкости конденсатора с учетом всех рассмотренных факторов можно определить по формуле

$$C = 0{,}085\,(kS/d),$$

где C — емкость, пФ (10^{-12} Ф); S—площадь обкладок, см^2; d — расстояние между обкладками, см; k — диэлектрическая проницаемость.

Типы конденсаторов

Конденсаторы подразделяются на два основных типа: переменной и постоянной емкости. Конденсаторы переменной емкости имеют конструкцию, позволяющую изменять емкость в заданных пределах. Существует два типа переменных конденсаторов: поворотные или роторные и подстроечные.

Поворотный конденсатор изображен на рис. 3.37. Он имеет ряд электрически связанных между собой неподвижных пластин (статор), между которыми располагаются подвижные пластины (ротор), также соединенные между собой электрически. Подвижные пластины жестко закреплены на вращающейся относительно статора оси. Диэлектриком служит воздух. Поворот оси изменяет площадь перекрытия роторных и статорных пластин конденсатора, что приводит к изменению емкости. При полном перекрытии площади пластин емкость максимальна.

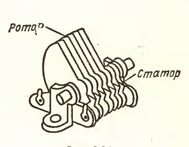


Рис. 3.37

Подстроечный конденсатор, показанный на рис. 3.38, состоит из двух пластин, разделенных слюдяным диэлектриком. Емкость изменяется путем изменения расстояния между пластинами, осуществляемого с помощью винта.

Конденсаторы постоянной емкости различаются типом используемого диэлектрика. Ниже представлены наиболее распространенные типы конденсаторов.

Бумажные конденсаторы. Название говорит о том, что

в таких конденсаторах в качестве диэлектрика используется бумага. Типичное устройство бумажного конденсатора показано на рис. 3.39. Он состоит из тонких проводящих

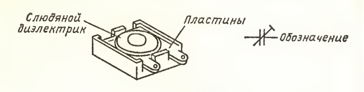


Рис. 3.38

лент, выполненных из металлической фольги и разделенных между собой изолирующими лентами, сделанными из пропитанной парафином бумаги. Типичные значения емкостей бумажных конденсаторов лежат в пределах от 300 пикофарад (пФ) до 4 микрофарад (мкФ). Максимальные рабочие напряжения редко превышают 600 В. Свернутые в рулон ленты помещают в корпус и заливают парафином для предотвращения воздействия окружающей среды.

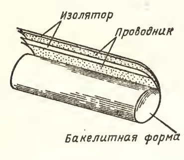


Рис. 3.39

Слюдяные конденсаторы. Слюдяные конденсаторы состоят из чередующихся металлических пластин, разделенных слоями слюды. Емкости их обычно невелики и обычно не превышают несколько сот пикофарад. Применение слюдяного диэлектрика позволяет при малых физических размерах конденсаторов получить высокие рабочие напряжения. Цифровые данные, определяющие рабочие параметры конденсаторов, указываются на их корпусах.

Масляные конденсаторы. Масляные конденсаторы обычно используются в мощных электронных, например радиопередающих, устройствах; они по конструкции выполнены так же, как и бумажные конденсаторы, но диэлектриком является специальное масло. Пропитанная этим маслом бумага обладает хорошими диэлектрическими свойствами и используется для производства качественных конденсаторов. В ряде случаев масло используется как наполнитель

наряду с другим диэлектриком в целях предотвращения внутреннего дугового разряда между обкладками конденсатора. Если он все же происходит, то масло способствует восстановлению диэлектрических свойств в месте разряда. Такие конденсаторы часто называют самовосстанавливающимися.

Керамические конденсаторы. Название конденсатора свидетельствует, что в качестве диэлектрика используется специальная керамика. Один из видов керамических конденсаторов (трубчатый) представляет собой полый керамический цилиндр, используемый как изоляционный слой между металлическими обкладками, нанесенными на внешнюю и внутреннюю поверхности цилиндра.

Второй вид керамических конденсаторов имеет форму керамического диска, на поверхностях которого создаются металлические обкладки. После присоединения выводов к каждой обкладке диск покрывается изоляционным водонепроницаемым слоем. Значение емкостей керамических конденсаторов колеблется от единиц пикофарад до десятых долей микрофарад, а рабочие напряжения достигают 30 кВ.

Электролитические конденсаторы. Конденсаторы этого типа обладают большой емкостью и относятся к виду полярных конденсаторов. В качестве наполнителя в них используется электролит в жидком или порошкообразном виде. Конденсаторы с жидким электролитом в настоящее время почти не используются из-за необходимости соблюдения осторожности в обращении с электролитом.

Основу конденсаторов с сухим электролитом образуют обычно два металлических электрода, между которыми помещен электролит. В большинстве случаев они помещаются в цилиндрический алюминиевый контейнер, который имеет вывод, соответствующий отрицательному электроду (рис. 3.40). Вывод от второй положительной обкладки (или вторых обкладок, если конденсатор состоит из нескольких секций) выполняется в виде монтажного лепестка на торцевой части цилиндра. Емкость конденсатора и максимальное рабочее напряжение указываются на стенке цилиндра.

Обкладки электролитических конденсаторов в принципе устроены так же, как и в бумажных. Положительная обкладка представляет собой алюминиевую фольгу, покрытую тонкой оксидной пленкой, образующейся электрохимическим окислением. Эта пленка играет роль диэлектрика. Рядом с окисной пленкой и в контакте с ней находится полоска бумаги или материи, пропитанной пастообразным

электролитом. Электролит выступает в качестве отрицательной обкладки конденсатора. Вторая полоска алюминиевой фольги располагается рядом с этой бумажной в целях обеспечения электрического контакта с отрицательным электродом (электролитом). Все три слоя скатываются

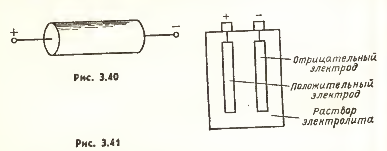


Рис. 3.40

Рис. 3.41

и помещаются в цилиндр, заполненный электролитом, как это показано на рис. 3.41.

Основные недостатки электролитических конденсаторов состоят в том, что они являются полярными и имеют низкое сопротивление утечки. Стоит случайно соединить положительный вывод с отрицательным, как диэлектрическая оксидная пленка растворится и конденсатор превратится в проводник (короткое замыкание между электродами). Полярность выводов обычно указывается на корпусе конденсатора. Так как полярные конденсаторы нормально работают только при одной полярности напряжения, то их применение ограничено цепями постоянного тока с ограниченным значением пульсаций напряжения. Специальные типы электролитических конденсаторов иногда используются в цепях переменного тока, например, в качестве пусковых конденсаторов электродвигателей. Емкости конденсаторов с сухим электролитом лежат в пределах от единиц до тысяч микрофарад, а рабочие напряжения достигают 500 В.

Тип диэлектрика и расстояние между обкладками определяют то максимальное напряжение, которое может быть приложено к обкладкам конденсатора. Если напряжение настолько велико, что способно вызвать ионизацию атомов диэлектрика, то возможен пробой диэлектрического промежутка. Если конденсатор не является самовосстанавливающимся, то пробой приведет к нарушению работоспособности. Рабочим напряжением и называют то максимальное напряжение, при котором гарантирована нормальная рабо-

та конденсатора. Оно обычно указывается на корпусе конденсатора. Таким образом, рабочее напряжение зависит от типа и толщины диэлектрика. Если толщина диэлектрика растет, то возрастает и расстояние между обкладками и, следовательно, рабочее напряжение. Любые изменения в расстоянии между пластинами ведут к изменению емкости конденсатора. Поскольку в электрических цепях возможно появление перенапряжений, носящих импульсный характер, конденсаторы должны выбираться так, чтобы их рабочее напряжение превосходило значение перенапряжений.

Конденсаторы для источников питания

Цель предыдущего изложения состояла в том, чтобы дать читателю общее представление о конденсаторах, об их устройстве и работе. Хотя конденсаторы с малой емкостью и применяются в устройствах электропитания для защиты выпрямительных диодов, а также для улучшения шумовых характеристик, но здесь нас интересуют в основном конденсаторы с большой емкостью, используемые в фильтрующих цепях.

В современных источниках питания используются преимущественно электролитические конденсаторы, хотя иногда их заменяют масляными. Электролитические конденсаторы обладают большой емкостью при относительно небольших размерах. Масляные конденсаторы при тех же значениях емкости имеют больший размер, а максимальное значение емкости в них ограничено и меньше, чем у электролитических конденсаторов.

Масляные конденсаторы имеют одно явное преимущество перед электролитическими: их рабочие напряжения выше. Поэтому масляные конденсаторы часто используют в источнике питания со средними и высокими уровнями выходных напряжений. Рабочее напряжение конденсатора, стоящего на выходе источника питания, должно быть не меньше выходного напряжения. Практические соображения определяют, что рабочее напряжение конденсаторов должно примерно на 25 % превышать максимальное значение выходного напряжения источника питания. Например, в источнике питания с выходным постоянным напряжением 12 В должен использоваться фильтровый конденсатор, имеющий, по крайней мере, рабочее напряжение 15 В. Не следует также забывать, что мы здесь ведем речь о выпрями-

телях переменного напряжения. Если к выходу двухполупериодного выпрямителя, не имеющего фильтра, подключить вольтметр постоянного тока, то его показания дадут среднее значение пульсирующего выходного напряжения. Конденсатор, подключенный к выпрямителю, будет заряжаться до амплитуды переменного напряжения, значение которой примерно в 1,5 раза выше напряжения, измеренного вольтметром. В таком случае для расчета рабочего напряжения конденсатора необходимо увеличить среднее значение выходного напряжения выпрямителя в 1,5 раза, а затем полученное значение увеличить еще на 25 %.

Увеличение емкости конденсатора на выходе источника питания выше некоторого значения не приводит к заметному улучшению качества выходного напряжения. Хотя чем больше емкость конденсатора, тем лучше. В последнем случае речь идет о динамическом диапазоне изменения тока нагрузки. В простейшем источнике питания, представляющем собой выпрямитель с емкостным фильтром, как средний уровень напряжения, так и амплитуда пульсаций зависят от тока нагрузки. Если ток нагрузки мал, то выходное напряжение относительно велико, при увеличении тока нагрузки напряжение заметно уменьшается. С амплитудой пульсаций дело обстоит противоположным образом: она увеличивается с ростом тока нагрузки. В выпрямителях, имеющих конденсаторный фильтр с большой емкостью, изменения выходного напряжения будут меньше зависеть от тока нагрузки.

Таким образом, в подобных выпрямителях внешние характеристики источника питания, определяющие зависимость выходного напряжения от тока нагрузки, целиком зависят от емкости конденсатора фильтра. В низковольтных источниках питания емкости конденсаторов достигают значений в несколько тысяч микрофарад. При низких выходных напряжениях размеры этих конденсаторов сравнительно невелики. Поскольку с ростом рабочих напряжений конденсаторов пропорционально увеличиваются их размеры, то конденсаторы со столь большими значениями емкости физически нереализуемы. Конденсатор с емкостью 1000 мкФ и рабочим напряжением 12 В вполне уместится на ладони. Тот же конденсатор на 1000 В имел бы массу более 100 кг. К счастью, в высоковольтных источниках питания нет необходимости использовать конденсаторы, емкость которых превышала бы 20—30 мкФ.

Разработчики и конструкторы источников питания дол-

жны обращать особое внимание на соответствие параметров компонентов режимам работы, в особенности это касается рабочих напряжений конденсаторов. Если рабочее напряжение превышено, то электролит конденсатора нагревается, что приводит к его расширению. Хотя источники питания имеют в своем составе плавкие предохранители, но они не всегда срабатывают, и разогрев может вызвать взрыв конденсатора и причинить ущерб обслуживающему персоналу. В других типах конденсаторов превышение напряжения над рабочим вызывает короткие замыкания между обкладками. Но даже в масляных конденсаторах возможность взрыва не исключена. И еще одно предупреждение: электролитический конденсатор нормально работает только при постоянном напряжении. Если он окажется включенным в цепь переменного тока, то также возможен перегрев и взрыв конденсатора.

Выше уже отмечалось, что в отличие от большинства конденсаторов электролитические—почти всегда полярные. Это значит, что напряжение между выводами конденсатора должно иметь вполне определенную полярность. Хотя существуют и неполярные электролитические конденсаторы, но в источниках питания они не применяются. Если на электролитический конденсатор подать напряжение обратной полярности, то он может быть поврежден. К тому же при таком включении конденсатор теряет свои функции.

Параллельное соединение конденсаторов

Конденсаторы, так же как и другие компоненты электронных схем, можно соединить последовательно или параллельно. Эквивалентный такому соединению конденсатор обладает параметрами, некоторые значения которых превышают параметры составляющих конденсаторов. Пусть, например, требуется конденсатор с рабочим напряжением 50 В, имеющий емкость 1000 мкФ. Если есть под рукой два конденсатора с емкостью 500 мкФ и тем же рабочим напряжением, то желаемый результат достигается параллельным включением конденсаторов, показанным на рис. 3.42. При параллельном соединении результирующая емкость увеличивается. Два вышеназванных компонента, соединенных параллельно, образуют эквивалентный конденсатор с рабочим напряжением 50 В и емкостью 1000 мкФ. Если параллельно подключить еще один такой же конденсатор, то эквивалентная емкость будет иметь значение 1500 мкФ.

Таким образом, использовав параллельное соединение нескольких конденсаторов, можно получить эквивалентный конденсатор, емкость которого будет равна сумме емкостей составляющих конденсаторов.

Для параллельного соединения лучше, конечно, использовать одинаковые конденсаторы, предпочтительно изготовленные одним и тем же предприятием и имеющие одинаковую маркировку. Это замечание сделано не с точки зрения обеспечения нормальной работы параллельного соединения, а с точки зрения удобства монтажа и компоновки конденсаторов в конкретном устройстве, при этом важно обеспечить соответствие рабочих напряжений всех конденсаторов уровню выходного напряжения источника питания. Если вы соедините параллельно три конденсатора, одни из которых имеет емкость 50 мкФ при рабочем напряжении 20 В, второй — 10 мкФ и 50 В соответственно, а третий — 100 мкФ и 6 В, то результирующее соединение, имеющее эквивалентную емкость 160 мкФ, может нормально работать при напряжениях, не превышающих 6 В. Таким образом, результирующее рабочее напряжение параллельного соединения определяется минимальным рабочим напряжением из составляющих его конденсаторов. При параллельном соединении электролитических конденсаторов важно следить за тем, чтобы были объединены между собой электроды одинаковой полярности (рис. 3.43).

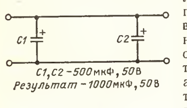


Рис. 3.42

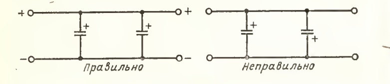


Рис. 3.43

Последовательное соединение конденсаторов

В устройствах электропитания со средним и высоким уровнями выходных напряжений могут возникнуть трудно-

сти при конструировании конденсаторных фильтров. Рабочие напряжения электролитических конденсаторов обычно не превышают 450 В, хотя и имеются компоненты на 600 В с относительно низкими значениями емкостей. Рабочие напряжения масляных конденсаторов немногим более 1500 В, а некоторые специальные типы рассчитаны на работу до 5000 В. У большинства высоковольтных конденсаторов емкости невелики, что требует параллельного соединения конденсаторов для обеспечения удовлетворительных внешних характеристик источников питания. К основным недостаткам высоковольтных конденсаторов относятся значительные размеры, вес и стоимость.

Для увеличения рабочих напряжений используется последовательное соединение нескольких конденсаторов. На рис. 3.44 показана цепь, состоящая из четырех последовательно включенных одинаковых конденсаторов, имеющих емкость 100 мкФ при рабочем напряжении 500 В. Рабочее напряжение конденсатора, эквивалентного такому соединению, возрастает до 2000 В. Но здесь же на передний план выдвигается недостаток по-

+C1 +C2 +C3 +C4

C1-C4 – 100 мкФ, 500 В
Результат – 25 мкФ, 2000 В

Рис. 3.44

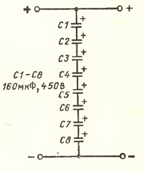


Рис. 3.45

следовательного соединения: тогда как рабочее напряжение с добавлением каждого нового конденсатора увеличивается, значение эквивалентной емкости падает. В случае соединения одинаковых конденсаторов эквивалентная емкость обратно пропорциональна числу включенных конденсаторов. В нашем примере результирующая емкость составляет 25 мкФ.

Для последовательного соединения целесообразно выбирать конденсаторы, имеющие возможно большие значения рабочих напряжений и емкостей: выполнение первого требования обусловливает уменьшение количества последовательно включенных конденсаторов, а второго — получение большей эквивалентной емкости.

В источниках питания со средними и высокими уровня-

ми выходных напряжений часто используется последовательное соединение электролитических конденсаторов, которые идеально подходят для этой цели в том смысле, что при незначительных размерах имеют большие емкости. На рис. 3.45 показано, как восемь одинаковых электролитических конденсаторов с рабочим напряжением 450 В и емкостью 160 мкФ соединены в последовательную цепь, образующую эквивалентный конденсатор с рабочим напряжением 3600 В и емкостью 20 мкФ. Такое соединение является стандартным и широко применяется в устройствах электропитания с выходным напряжением до 3000 В. Заметьте, что последовательность соединения выводов конденсаторов вполне определена: отрицательный вывод первого конденсатора соединен с положительным выводом второго, который в свою очередь, своим отрицательным выводом соединен с положительным выводом третьего конденсатора и т. д.

Рассмотренное последовательное соединение требует использования конденсаторов, идентичных по своим характеристикам и выпускаемых одним и тем же предприятием, а лучше всего, чтобы они входили в одну партию выпуска. Дело в том, что напряжение на каждом из последовательно соединенных конденсаторов будет в 8 раз меньше общего напряжения только в том случае, если параметры отдельных конденсаторов абсолютно совпадают. Если общее напряжение равно 3000 В, то на каждом конденсаторе действует постоянное напряжение 375 В. Поскольку каждый из конденсаторов рассчитан на 450 В, то имеется определенный запас по напряжению, который обеспечивает нормальное функционирование устройства. Однако если конденсаторы имеют значительный разброс значений емкостей и сопротивлений утечки, распределение напряжений не может быть равномерным. Такое положение может означать, что на одних конденсаторах было бы 150 или 200 В постоянного напряжения, а на других 550 В или еще больше, при этом было бы превышено рабочее напряжение (450 В), что неизбежно привело бы к возникновению повреждений. Если даже используются конденсаторы, выпускаемые одним предприятием-изготовителем, технологический разброс их параметров редко бывает меньше 10—20 %. Дело усугубляется, если конденсаторы выполнены различными предприятиями. Поэтому один из конденсаторов может иметь емкость 150 мкФ, а другой 170 мкФ. К тому же номинальное значение емкости часто задается с запасом, и реальная

емкость больше номинальной. Все эти причины вызывают неравномерное распределение напряжений в последовательном соединении конденсаторов.

Именно поэтому в последовательном соединении необходимо использовать конденсаторы, выпускаемые одним предприятием-изготовителем и принадлежащие к одной партии выпуска. Конечно, можно было бы при этом произвести отбор конденсаторов с тем, чтобы выбрать из них те, параметры которых наиболее близки друг другу. Однако подобный метод требует больших затрат времени и себя не оправдывает. Но даже и в этом случае для выравнивания напряжений на конденсаторах используют внешние резисторы, подключаемые параллельно к выводам каждого из конденсаторов. Выбор резисторов с одинаковым сопротивлением не является проблемой. На рис. 3.46 показано рассмотренное ранее последовательное соединение, где конденсаторы шунтированы резисторами с сопротивлением 2500 Ом. Они играют ту же роль, что и резисторы, используемые в последовательных соединениях выпрямительных диодов. Представленная цепь является стандартной, широко применяется в разработках высоковольтных источников питания и выполняет две функции. Первая, которую мы уже рассмотрели, состоит в выравнивании постоянных напряжений на конденсаторах. Вторая заключается в том, что последовательное соединение резисторов образует стабилизирующий нагрузочный резистор, сопротивление которого равно 200 000 Ом (25 000×8). Мощность каждого резистора 20 Вт. Напомним, что резистор создает дополнительную нагрузку выпрямителя с емкостным фильтром, обеспечивает необходимый уровень выходного напряжения при отключенной основной нагрузке и обеспечивает разряд конденсаторов при выключении сети.

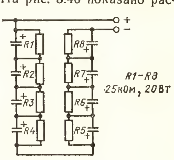


Рис. 3.46

Теперь настало время поговорить о мерах безопасности при работе с источниками питания, в особенности со средними и высокими уровнями выходных напряжений. Если речь идет о напряжениях, превышающих 200 В, то здесь вряд ли отделаешься легким испугом, получив электричес-

кий удар, но можно получить серьезные ожоги и увечья. Отчетливо помню, как я смотрел на ногу своего товарища, работавшего со стоящим на полу источником, дававшим 3000 В выходного напряжения. К счастью, он выжил, но стопа и часть лодыжки его правой ноги выглядели так, словно их долго жевало какое-то огромное плотоядное животное. И удивительный факт, но источник питания был выключен: сетевой шнур был вынут из розетки за пять минут до происшествия. Как же это могло произойти? Мы уже говорили, что накопившийся заряд конденсатор сохраняет некоторое время после отключения источника энергии и нагрузки. Дополнительные нагрузочные резисторы, речь о которых идет не в первый раз, как раз и предназначены обеспечивать разряд конденсатора в этих случаях. Но вдруг по каким-либо причинам они отсутствуют? Так и произошло в этом случае. Во время профилактических работ с источником резисторы были отключены от конденсаторов, а затем их забыли подсоединить. Поэтому спустя 5 мин после выключения из сети на выходе источника было почти полное выходное напряжение.

Вы могли обратить внимание на то, что некоторые конденсаторы большой емкости, поступающие в фабричной упаковке с предприятий-изготовителей, имеют закороченные внешним проводом выводы. Это свидетельство того, что конденсатор разряжен. Подобные меры предосторожности почти всегда применяют для высоковольтных конденсаторов, которые в процессе проверки на выпускающих предприятиях заряжаются до напряжений, превышающих номинальные значения. Рассказывают, что бывали смертельные случаи при извлечении высоковольтных конденсаторов большой емкости из фабричных упаковок. Хотя это и маловероятно и мне, к счастью, ни разу не представился случай убедиться в правдивости подобных историй, но в принципе это возможно. Будьте всегда осторожны в обращении с конденсаторами. Нет ничего проще, чем взять конденсатор за его изолированную поверхность в одну руку, большую отвертку с изоляционной ручкой в другую и жалом отвертки соединить накоротко выводы конденсатора. Очень неплохая идея — хранить высоковольтные конденсаторы, соединив проводом их выводы. Несколько лет тому назад я получил небольшой электрический удар, взяв в руки конденсатор, хранившийся в доме на чердаке. Это произошло сразу же после сильной бури. Как оказалось, статический атмосферный заряд привел к незначительному

накоплению заряда в высоковольтном конденсаторе. Удар был не сильный, но совершенно неожиданный. Я резко отпрыгнул назад, ударился головой о балку и получил легкое сотрясение мозга. Это лишний раз доказывает, что могут произойти серьезные осложнения даже от легкого удара, электрического «щекотания», если они возникают внезапно.

Многие технические специалисты и инженеры не согласятся с нижеследующим утверждением, но я твердо верю в него и руководствуюсь им неукоснительно; недостаточно внимательно обращаться с высоким напряжением, надо его бояться. Конечно же, это осознанная боязнь, необходимая в разработке высоковольтных источников питания, но тем не менее это боязнь. Человек, не придерживающийся этих правил при работе с высоким напряжением, поступает не очень дальновидно.

Многие, работающие в этой области техники, возразят, что знание работы высоковольтных цепей и постоянный контакт с такими устройствами притупляют чувство боязни. Конечно, это так, и хотя вы обязаны знать, какие цепи в высоковольтном источнике питания представляют наибольшую опасность, но это еще не является гарантией от появления высоких напряжений в совершенно неожиданных местах. Это же может произойти при первоначальных включениях высоковольтных источников вследствие неисправностей монтажа.

Потенциально опасные ситуации могут возникнуть при измерении уровня высокого напряжения, если для измерений используется широко распространенный универсальный измерительный прибор (тестер). Многие тестеры предназначены для измерения напряжения до 3000 В, но очень часто измерительные шнуры имеют изоляционное покрытие, выдерживающее не более 1000 В. Это значит, что при измерении напряжения вы можете получить электрический удар, опасный для жизни, если только ваше тело контактирует с землей. К тому же изоляция на измерительных проводах часто имеет различные повреждения, образующиеся от постоянного контакта с кусачками, плоскогубцами, отвертками, горячими паяльниками и прочим инструментом. Все это может показаться вам незначительным, но лучше лишний раз перестраховаться: первый же контакт с высоким напряжением может оказаться и последним.

Многие обычно недостаточно осторожно обращаются с низковольтными источниками питания, полагая, что они безопасны, в то время как это совсем не так. В бытовой

аппаратуре первичным источником электропитания является преимущественно сеть переменного тока, и причиной большинства несчастных случаев является контакт с сетью. Нельзя забывать, что даже в выключенном состоянии вашей аппаратуры один из выводов сети всегда имеет контакт с ней, в частности с выводами плавкого предохранителя и первичной обмотки трансформатора. Для устранения этого контакта достаточно вынуть вилку из сети.

Мы говорим о вопросах безопасности где-то в середине главы, посвященной компонентам, потому, что конденсаторы, используемые в качестве фильтрующих элементов представляют собой потенциальную опасность при наладке источника питания. Следует также помнить, что при работе с сетевыми источниками питания совершенно необходимо глубокое понимание принципов работы устройств питания и применение мер, обеспечивающих должную безопасность.

Изоляция конденсаторов

Обсудив ряд вопросов, касающихся обеспечения мер безопасности при работе с источниками питания и особенно с конденсаторами фильтров, вернемся вновь к последовательному соединению конденсаторов. На рис. 3.47 показана еще одна часто встречающаяся на практике последовательная цепь. Пусть номинальное значение рабочего напряжения каждого конденсатора составляет 400 В. Это значит, что для последовательного соединения оно равно 1600 В. С запасом его можно использовать в источнике питания с выходным напряжением 1200 В. При равномерном распределении общего напряжения на каждом конденсаторе будет 300 В постоянного напряжения. Но под каким напряжением относительно корпуса находится первый конденсатор? Конечно, под напряжением 1200 В. Хотя между первым конденсатором и корпусом включены еще три конденсатора, но если по каким-либо причинам обра-

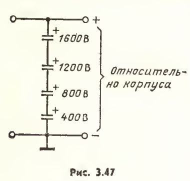


Рис. 3.47

зуется проводящий путь между корпусом этого конденсатора, выполняющего роль отрицательного электрода, и корпусом устройства, то неизбежно возникнет дуговой разряд между обкладками, который уничтожит конденсатор. Это происходит потому, что при наличии указаиного пути на первом конденсаторе будет все выходное напряжение, т. е. 1200 В.

На корпуса электролитических конденсаторов, выполняющих роль отрицательных электродов, часто наносят изолирующее покрытие в виде бумаги или пластмассы. Так как при транспортировке и монтаже эта изоляция обычно нарушается, очень вероятна описанная выше ситуация. Проблема решается установкой конденсаторов на панель, сделанную из любого изоляционного материала. Конденсатор, отрицательный электрод которого в последовательном соединении связан с корпусом, можно монтировать прямо иа корпусе устройства, ио уже второй электрод необходимо изолировать как от общей точки, так и от других конденсаторов.

При работе избегайте контакта с корпусами конденсаторов, установленных на изолирующей панели. Если вы коснетесь такого корпуса одной рукой, а другая в это время будет лежать на корпусе всего устройства, то через ваши руки и шейную область пройдет электрический разряд, который может на время остановить работу сердца. Если рядом нет никого, кто смог бы вам помочь, это временная остановка может остаться постоянной.

В этой книге рассмотрены преимущественно источники питания, в которых нет высоких напряжений, лишь некоторые из них имеют высокие напряжения. И наш разговор о соблюдении мер безопасности в работе не преследует цель запугать вас до такой степени, чтобы навсегда отбить охоту заниматься устройствами питания. Даже высоковольтные источники можно успешно создавать, пользоваться ими или ремонтировать, ио надо ясно представлять себе, что может произойти, если не соблюдать меры предосторожности.

Дополнительные нагрузочные резисторы

Мы уже ие один раз отмечали, что основное назначение дополнительных нагрузочиых резисторов состоит в обеспечении разряда конденсаторов фильтра после отключения основной нагрузки и входного иапряжения. Рассмотрим

здесь более детально некоторые практические соображения, необходимые для выбора резисторов. Как правило, постоянное сопротивление этих резисторов рассчитывают так, чтобы на каждый 1 В полного напряжения приходилось 100 Ом сопротивления. Иными словами, для определения общего сопротивления резистора в омах нужно значение выходного напряжения умножить на 100. Таким образом, в источнике с выходным напряжением 100 В резистор должен иметь сопротивление 10 000 Ом. Мощность, которая выделяется в резисторе, будет зависеть от уровня выходного напряжения. Для ее определения нужно вспомнить, что при заданном напряжении мощность пропорциональна квадрату напряжения U^2 и обратно пропорциональна сопротивлению (R), так что

$$P = U^2/R.$$

В нашем примере номинальная мощность резистора определяется следующим образом:

$$P = 100^2/10\,000 = 1 \text{ Вт}.$$

При работающем источнике питания эта постоянная мощность выделяется в резисторе и обусловливает его нагревание. Но напомним, что дополнительный нагрузочный резистор выполняет роль защитного устройства и для гарантированного выполнения этой функции следовало бы обеспечить облегченный режим работы резистора, который повышает надежность работы. Поэтому в нашем случае целесообразнее было бы использовать резистор с номинальной мощностью 2 или даже 5 Вт.

Рассмотрим теперь источник с постоянным выходным напряжением 3000 В. Здесь сопротивление дополнительного резистора равно 300 000 Ом, и, использовав приведенную формулу, можно найти номинальную мощность резистора:

$$P = 3000^2/300\,000 = 30 \text{ Вт}.$$

Для обеспечения необходимой надежности следовало бы выбрать резистор с номинальной мощностью, втрое больше расчетной, так что впору бы пришелся резистор с мощностью 100 Вт. Реально же в таких устройствах используют резистор с номинальной мощностью 150 или 200 Вт.

К несчастью, высоковольтные резисторы — это почти всегда проволочные резисторы, и перегрев часто приводит к выходу их из строя, причем выход из строя означает раз-

рыв в цепи резисторы. Внимание! Будьте осторожны! При обрыве цепей дополнительных резисторов на конденсаторах может остаться заряд, накопленный ими в процессе работы.

В источниках питания с высокими и средними уровнями выходных напряжений необходимо обеспечить повышенную надежность работы защитных устройств. Рисунок 3.48 демонстрирует, как это выполнить практически. Дополнительный нагрузочный резистор *(R1)*, выполняющий основ-

Рис. 3.48

ные защитные функции, имеет номинальную мощность 100 Вт и сопротивление 300 кОм. Параллельно с ним включен резервный резистор *(R2)*, сопротивление которого примерно на порядок больше ($2\cdot10^6$ Ом), а номинальная мощность равна 5—10 Вт. Большое сопротивление последнего резистора практически не сказывается на работе устройств при исправном резисторе *R1*. Однако если по каким-либо причинам происходит обрыв в цепи *R1*, резистор *R2* обеспечивает разряд фильтровых конденсаторов. Конечно, этот разряд происходит медленнее, но обычно в течение 30 с конденсаторы разряжаются полностью.

Дополнительные нагрузочные резисторы, как правило, при работе нагреваются, и их необходимо периодически осматривать, чтобы вовремя обнаружить признаки возможных неисправностей. Если найден поврежденный резистор, то не следует включать источник питания, пока не будет произведена замена резистора. Не следует полагаться на резервный резистор при отсутствии основного. В некоторых высоковольтных источниках питания для повышения надежности устанавливают параллельно три резистора и часто для отвода выделяющегося в них тепла используют встроенные в источник небольшие вентиляторы. В результате этого увеличивается срок службы источников питания.

Полупроводниковые приборы

Полупроводниковые диоды, с которыми мы уже познакомились, присутствуют практически в любых устройствах электропитания и относятся к одному из классов полупроводниковых приборов. До сих пор мы рассматривали компоненты в относительно простых нестабилизированных источниках питания (выпрямителях). Но те же компоненты широко применяются и в более сложных устройствах электронных регуляторов постоянного напряжения, которые включают в себя различные полупроводниковые схемы и устанавливаются на выходе выпрямителей для получения стабильного постоянного выходного напряжения.

Полупроводниковые компоненты изготавливают из различных полупроводниковых материалов, т. е. таких материалов, сопротивление которых больше сопротивления металлов, являющихся хорошими проводниками, но меньше, чем сопротивления диэлектриков, используемых в качестве изоляторов. Полупроводники имеют кристаллическое строение. В процессе изготовления полупроводниковых приборов кристаллы подвергают обработке различными типами примесей. В результате такой обработки кристалл приобретает слоистую структуру, каждый слой которой имеет различную проводимость. Затем обработанный кристалл помещают в пластмассовый или металлический корпус, а различные слои кристалла соединяют проводниками с внешними выводами корпуса, обеспечивающими возможность монтировать прибор в той или иной схеме. После такой сборки кристалл с корпусом образуют неделимое целое — полупроводниковый компонент, который может, не разрушаясь, выдержать определенные механические вибрации и ударные нагрузки. Полупроводниковые компоненты включают в себя громадное разнообразие приборов и устройств, выполняющих в радиоэлектронной аппаратуре самые различные функции. Некоторые из них рассматриваются ниже.

Транзисторы. Транзисторы — это полупроводниковые приборы, обладающие свойством усиливать мощность воздействующего на них управляющего или входного сигнала. В источниках питания они чаще всего используются в схемах последовательных стабилизаторов напряжения, подключаемых к выходу выпрямителей. В транзисторных схемах при небольших изменениях входного тока можно получить значительно большие изменения выходного тока и напряжения. Транзистор может функционировать или как

линейный усилитель, в котором входной и выходной сигналы изменяются во времени по одному и тому же закону, или как электронный ключ, у которого различают только два состояния — включен, выключен. Существует много типов транзисторов, имеющих различные характеристики, но принцип работы их в основных чертах совпадает.

Изобретение транзистора открыло новую эру развития электроники. Малые размеры и надежность работы транзисторов позволили создавать портативные устройства, широко применяющиеся в самых различных областях. Они применяются в производстве аппаратуры для подвижных объектов, измерительных приборах, фотооборудовании, радиоаппаратуре, записывающих и воспроизводящих устройствах и т. д. Одним словом, нет такой формы человеческой деятельности, где не использовались бы транзисторы.

На рис. 3.49 показан характерный внешний вид корпусов, используемых в производстве транзисторов. Внешние

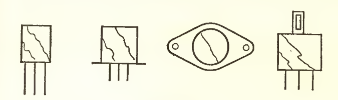


Рис. 3.49

выводы для одного широко распространенного типа транзисторов, а именно биполярных транзисторов, называют эмиттером, коллектором и базой. Эти транзисторы называют биполярными (двуполярными), так как принцип их работы основан на взаимодействии полупроводниковых материалов с различным типом проводимости: в *n*-материалах проводимость в основном определяется свободными отрицательными зарядами, а в *p*-материалах — положительными.

Существуют два вида биполярных транзисторов, условные обозначения которых показаны на рис. 3.50. В *p-n-p* транзисторах слой полупроводника с *n*-проводимостью расположен между двумя слоями, имеющими *p*-проводимость. В транзисторах *n-p-n*, напротив, между слоями *n*-типа расположен слой *p*-типа.

При описании полупроводниковых приборов можно выделить две группы параметров: одни из них определяют

граничные условия эксплуатации или предельные режимы работы, а вторые — основные характеристики приборов в нормальных (штатных) режимах работы. На корпусах приборов обычно указывается марка завода-изготовителя и тип прибора в соответствии с принятой классификацией.

Рис. 3.50

Существует множество различных символов, используемых для описания характеристик приборов и их параметров. Рассмотрим наиболее распространенные. Первый из них, обозначаемый латинской буквой $P_{макс}$, характеризует максимальную рассеиваемую мощность, т. е. ту максимальную мощность, которая может выделяться в приборе при его работе, не приводя к заметным изменениям характеристик компонента вследствие его разогрева. В зависимости от назначения транзистора она выражается в ваттах или милливаттах.

Второй важный параметр, обозначаемый $I_{с}$, определяет максимальное постоянное значение коллекторного тока, при котором гарантируются значения ряда других параметров. Для транзисторов большой мощности он задается в амперах, малой — в миллиамперах.

Третий параметр, или, скорее, группа параметров, характеризует максимальные значения постоянных напряжений, которые могут действовать между электродами. К ним относятся $U_{к.б}$ — максимальное напряжение между коллектором и базой, $U_{к.э}$ — максимальное напряжение коллектор — эмиттер и $U_{э.б}$ — максимальное обратное напряжение эмиттер — база. Если напряжения между электродами не превышают эти параметры, транзистор функционирует нормально, если превышают — транзистор может выйти из строя.

Наряду с этими параметрами, ограничивающими значения токов и напряжений, для биполярных транзисторов задают ряд параметров, непосредственно характеризующих их работу в нормальных условиях. К ним, в первую оче-

редь, относится параметр, обозначаемый как h_{FE} и определяющий отношение приращений выходного (коллекторного) тока транзистора к вызвавшим их приращениям входного тока (обычно тока базы). Его также называют коэффициентом усиления по току. Другим важным параметром является граничная частота усиления f_T; этот параметр, задаваемый в мегагерцах (МГц) или килогерцах (кГц), характеризует максимальную частоту входного переменного сигнала.

Одни и те же типы транзисторов могут быть изготовлены с различными внешними корпусами. Поэтому ряд изготовителей в справочных данных приводят не только типы приборов, но и типы корпусов. Каждый вид корпуса имеет определенные обозначения, такие, например, как ТО-1, ТО-5 и т. д.

Тиристоры. Тиристоры или кремниевые управляемые вентили (выпрямители) — это четырехслойные полупроводниковые приборы, выполненные на основе кристаллического кремния. Тиристоры широко применяются в управляемых выпрямителях, зарядных устройствах, схемах защиты источников питания и т. д. Тиристор можно уподобить диоду, перевод которого в проводящее состояние осуществляется с помощью внешнего управляющего сигнала. Источник сигнала должен обеспечивать ток, втекающий в управляющий электрод тиристора в тот момент времени, когда необходимо включить тиристор. В остальном он ведет себя так же, как и обычный диод: ток через него может протекать в одном (прямом) направлении.

Рис. 3.51

На рис. 3.51 показана схема управляемого однополупериодного выпрямителя с тиристором, который преобразует входное переменное напряжение в пульсирующее напряжение, выделяющееся в нагрузке. Между анодом тиристора и управляющим электродом включена последовательная цепь, состоящая из резистора R и ключа S. Если к тиристору приложено прямое напряжение (анод положителен по отношению к катоду), а ключ S разомкнут, то тиристор на-

ходится в состоянии низкой проводимости (выключен), в последовательной цепи ток практически отсутствует и напряжение на нагрузке равно нулю. Если же при прямом напряжении на тиристоре замкнуть ключ S, то через резистор R в управляющий электрод начнет поступать отпирающий ток, который вызовет переход тиристора в состояние высокой проводимости, произойдет включение тиристора. После этого напряжение между анодом и катодом, оставаясь положительным, уменьшается до значения, примерно равного прямому напряжению в проводящем диоде. В последовательной цепи появится прямой ток, а напряжение на нагрузке будет почти совпадать с входным напряжением. Так как после включения тиристора напряжение на нем уменьшается, то практически исчезает ток в цепи управляющего электрода. Однако тиристор останется во включенном состоянии, даже если ключ S разомкнут и будет находиться в этом состоянии в течение всей оставшейся части положительного полупериода входного напряжения. Выключение тиристора или переход его в состояние низкой проводимости произойдет тогда, когда значения входного переменного напряжения, а следовательно, и тока в последовательной цепи станут равны нулю. В следующий (отрицательный) полупериод входного напряжения напряжение между анодом и катодом отрицательно и тиристор, как и обычный диод, находится в состоянии низкой проводимости. В очередной положительный полупериод при замыкании ключа S вновь произойдет включение тиристора. Как правило, S — это электронный ключ, замыкаемый на короткое время в моменты, когда необходимо включить тиристор. Если предположить, что эти моменты времени отстоят от начала положительного полупериода на половину его длительности, то диаграмма входного и выходного напряжений будет иметь вид, показанный на рис. 3.52: в момен-

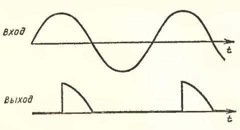


Рис. 3.52

ты включения тиристора в нагрузке возникает скачок, равный амплитуде входного напряжения.

Тиристоры можно использовать в качестве мощного электронного ключа в цепях постоянного тока. Схема такого ключа показана на рис. 3.53. Входное постоянное напря-

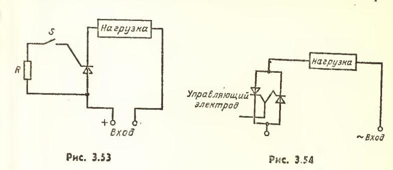


Рис. 3.53

Рис. 3.54

жение должно иметь полярность, соответствующую прямому напряжению на тиристоре. Если цепь управляющего электрода разомкнута, то тиристор выключен и напряжение на нагрузке равно нулю. Замыкание на короткое время ключа S вызывает переход тиристора в проводящее состояние, и практически все входное напряжение прикладывается к нагрузке. Так как входное напряжение постоянно, то в отличие от предыдущего случая тиристор останется включенным неопределенно долгое время. Для того чтобы его выключить, необходимо либо снизить до нуля входное напряжение, либо увеличить общее сопротивление нагрузки настолько, чтобы ток в последовательной цепи стал меньше некоторого минимального тока, который называют током удержания: если прямой ток меньше тока удержания, то тиристор самопроизвольно переходит в состояние низкой проводимости.

Симисторы. Симисторы, как и тиристоры, относятся к классу управляемых ключевых приборов. Однако в отличие от тиристоров, проводящих ток в одном направлении, симисторы — это двунаправленные переключатели. Они могут проводить ток и в одном, и в другом направлении и используются для регулирования мощности в цепях переменного тока.

Мы с вами уже рассмотрели некоторые схемы, использующие тиристоры. Если есть необходимость управлять пе-

ременным током, то можно использовать схему, показанную на рис. 3.54. Здесь два тиристора соединены встречно-параллельно: катод одного связан с анодом другого, а анод первого тиристора соединен с катодом второго. Управляющие электроды тиристоров также объединены. В каждом из полупериодов входного напряжения может проводить только один из тиристоров, и, изменяя моменты включения тиристоров относительно начала соответствующего полупериода, можно изменять действующее значение переменного напряжения в нагрузке. Аналогичную роль играют симисторы, которые выполняются как самостоятельные приборы на одном кремниевом кристалле путем его специальной обработки.

На рис. 3.55 показано условное обозначение симистора, включенного в схему регулятора переменного тока. Если

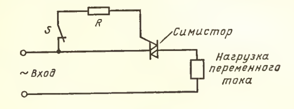


Рис. 3.55

ключ S разомкнут, то отсутствует ток в цепи управляющего электрода и симистор находится в состоянии низкой проводимости при любой полярности входного переменного напряжения. Замыкание ключа вызывает появление управляющего тока, и симистор включается. Таким образом, к нагрузке оказывается приложенным почти все входное напряжение. Симистор находится в проводящем состоянии и после размыкания ключа S, а выключается тогда, когда входное напряжение и ток в цепи равны нулю.

Симисторы обычно имеют большую стоимость, чем тиристоры, и используются только в мощных схемах. Следует обратить внимание на предельные значения токов и напряжений симистора: превышение этих значений вызывает разрушения прибора.

Интегральные схемы

Интегральные схемы (ИС) представляют собой сложные электронные устройства, которые выполняются в еди-

ном технологическом цикле на кремниевой кристаллической подложке. Они, в частности, широко используются в устройствах электропитания с различными уровнями выходных напряжений и мощностей.

В производстве интегральных схем используются те же материалы и технологические приемы, которые применяются при изготовлении таких дискретных компонентов, как транзисторы, диоды и т. п. Эти компоненты, соединенные определенным образом и выполненные на одном кристалле, образуют внутреннюю структуру интегральной схемы. И хотя такая схема содержит транзисторы, диоды, резисторы и другие компоненты, размеры ее очень малы. Она может содержать свыше 1000 таких компонентов, но свободно разместится на кончике пальца вашей руки. Развитие интегральной схемотехники и технологии произвело революционный переворот в промышленности.

Все компоненты интегральной схемы выполняются в едином технологическом цикле на одной кристаллической подложке. Технологические приемы изготовления различных компонентов могут несколько отличаться друг от друга. Но главное состоит в обработке исходного материала различными типами примесей для получения различных компонентов и соединений между ними. Одна из частей кристалла выполняет роль транзистора, другая — диода, третья — резистора. Соединяются они таким образом, чтобы интегральная схема выполняла требуемые от нее функции. На рис. 3.56 показано соединение компонентов, составляющих интегральную схему, в том виде, как будто бы ис-

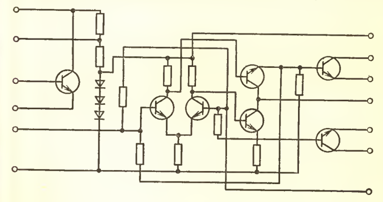


Рис. 3.56

пользованы дискретные элементы. Однако реальные размеры интегральной схемы существенно меньше размеров даже одного дискретного компонента. Поэтому применение интегральной схемотехники приводит к заметному уменьшению размеров электронных устройств. В сложных электронных устройствах каждую отдельно взятую интегральную схему можно рассматривать в качестве единого компонента, выполняющего те или иные функции.

Интегральные схемы обладают повышенной надежностью и помехозащищенностью. Уменьшение надежности сложного оборудования, состоящего из множества различных интегральных схем, каждая из которых имеет свой корпус и внешние выводы, обусловлено, в первую очередь, увеличением количества внешних связей и необходимостью применения различных дискретных компонентов. Поэтому наибольшей надежностью обладают устройства, в которых единая интегральная схема выступает как функционально законченный узел.

Совершенствование технологических приемов привело к удешевлению интегральных схем. Поэтому часто выгоднее использовать ИС, чем дискретные устройства такого же класса. Поэтому ИС широко применяются в настоящее время не только в специальной, но и в радиолюбительской аппаратуре, как наиболее отвечающие практическим требованиям.

Фоточувствительные полупроводниковые приборы

Хотя фоточувствительные приборы широко используются в различных устройствах, они менее знакомы нашим читателям. Название «фоточувствительные» говорит о том, что эти приборы реагируют на видимый свет, естественный или искусственный, и под воздействием света изменяют свои характеристики.

Полупроводниковые фотоприборы используют в различных целях, в том числе и в устройствах электропитания. Они могут выполнять роль измерителей интенсивности света, индикаторов неисправностей, электронных переключателей, управляемых светом, и т. д. Различают два эффекта светового воздействия на прибор: фотогальванический эффект и эффект фотопроводимости. В приборах с фотогальваническим эффектом под воздействием света возникает фото-ЭДС, которая может использоваться для питания внешних цепей. К таким приборам относятся солнечные

элементы. Эффект фотопроводимости заключается в изменении сопротивления прибора в результате воздействия света. Типичный представитель этих приборов — сульфидно-кадмиевый фоторезистор. Приборы первой группы можно отнести к активным элементам электронных цепей, вторые — к пассивным. Существует большое разнообразие фотоприборов, применяемых в различных электронных устройствах.

Солнечные элементы

Солнечные элементы относятся к фотоприборам с фотогальваническим эффектом и выполняют роль источников постоянного напряжения. Если в обычных устройствах электропитания первичным источником энергии является сеть переменного тока, то в солнечных батареях, составленных из солнечных элементов, таким источником служит солнечное излучение. Обычная конфигурация солнечного элемента — плоская пластина со специально обработанной поверхностью. Так же как и сухие гальванические элементы, пластины можно соединять последовательно для увеличения уровня выходного напряжения и параллельно для увеличения отдаваемой мощности.

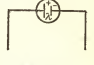


Рис. 3.57

На рис. 3.57 схематически изображен солнечный элемент. Выходное напряжение на выводах элемента обычно не превышает 0,45 В. Ток, который может обеспечить элемент для внешней цепи, зависит от интенсивности падающего света, а максимальное его значение ограничено параметрами элемента.

Как и следовало ожидать, солнечные элементы имеют относительно высокие цены, хотя совершенствование технологических процессов приводит к постоянному их снижению. Можно предположить, что дальнейшее развитие науки и техники приведет к увеличению конкурентоспособности солнечных элементов и сделает их применение жизнеспособной альтернативой традиционным источникам электрической энергии.

Выводы

Источники питания представляют собой относительно простые электронные схемы, которые могут быть реализованы с использованием рассмотренных в настоящей главе

и легкодоступных электронных компонентов. Большинство элементов так или иначе присутствуют в практических схемах источников питания, приведенных в последней главе.

Совсем необязательно детально понимать принцип работы того или иного элемента, но необходимо иметь общие представления о работе отдельных узлов источника питания. Следует помнить, что превышение номинальных параметров компонентов может привести к значительным повреждениям. Рассмотренные принципиальные схемы источников питания содержат в себе списки компонентов и информацию о параметрах, необходимую для правильного выбора типов элементов.

Глава 4

СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ

Любое электронное оборудование нормально функционирует при том или ином диапазоне изменения напряжения питания. В большинстве случаев пределы изменения питающего напряжения должны быть очень незначительны. Поэтому, как правило, простейшие источники напряжения, рассмотренные нами, непосредственно не могут быть использованы, а требуется применение специальных схем — стабилизаторов напряжения. В этой главе познакомимся с основными типами стабилизаторов.

Электронный стабилизатор — это устройство, которое включается между источником входного нестабилизированного напряжения и нагрузкой в целях поддержания напряжения на нагрузке в заданных пределах. Таким образом выходное напряжение стабилизатора обеспечивает электропитание нагрузки. Стабилизатор автоматически реагирует на отклонения выходного напряжения от заданного значения так, что компенсирует эти изменения в независимости от причин, их вызвавших: изменений входного напряжения, тока нагрузки и т. д.

В маломощных устройствах широко применяют стабилизаторы, использующие характеристики полупроводниковых стабилитронов. Качество стабилизации повышается с применением активных приборов, таких, как транзисторы или электронные лампы.

В зависимости от способа включения стабилизирующего

элемента относительно нагрузки различают два основных типа стабилизаторов: стабилизаторы параллельного и последовательного действия, которые дальше для краткости будем называть соответственно параллельными и последовательными стабилизаторами. Чаще используются последовательные стабилизаторы, так как они обладают лучшими характеристиками.

Параллельный стабилизатор

На рис. 4.1 представлена резистивная цепь, поясняющая принцип работы параллельного стабилизатора. Стабилизирующий или регулирующий элемент с регулируемым сопротивлением R_V включен параллельно с нагрузкой R_L. Стаби-

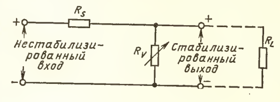


Рис. 4.1

лизация достигается таким изменением сопротивления R_V, при котором выходное напряжение остается постоянным с заданной точностью. Например, если уменьшилось сопротивление нагрузки R_L и, следовательно, увеличился ток нагрузки, сопротивление R_V должно возрасти, при этом ток, протекающий через R_V, должен уменьшиться на то же значение, на которое возрос ток нагрузки. Тогда падение напряжения на балластном резисторе R_S будет прежним, что при постоянном входном напряжении означает и постоянство выходного напряжения. Если же при постоянной нагрузке возрастет входное напряжение, то сопротивление R_V должно уменьшиться, с тем чтобы возросший ток регулирующего элемента R_V вызвал увеличение падения напряжения на балластном резисторе и обеспечил тот же уровень выходного напряжения.

Коэффициент полезного действия параллельных стабилизаторов невелик, в особенности при малых значениях тока нагрузки, так как при этом через регулирующий элемент протекает максимальный ток. Этот ток уменьшается,

и, следовательно, коэффициент полезного действия растет с увеличением тока нагрузки. Важным достоинством параллельного стабилизатора является отсутствие перегрузок по току в регулирующем элементе при перегрузках или даже коротких замыканиях на выходе.

Параметрические стабилизаторы напряжения

Полупроводниковые стабилитроны, работающие в режиме пробоя *p-n* перехода, можно успешно использовать в качестве стабилизаторов напряжения. Различные типы стабилитронов имеют номинальные напряжения пробоя от 2,4 до 200 В с допустимым отклонением 5—20 % номинального значения. В стабилизаторах этого типа используется нелинейное свойство вольт-амперных характеристик стабилитронов, а именно свойство сохранять почти постоянным напряжение при изменении тока через прибор, при этом изменяется сопротивление стабилитрона по постоянному току, определяемое как результат деления напряжения пробоя на ток, протекающий через стабилитрон. Так как напряжение почти постоянно, то сопротивление уменьшается с ростом тока и, напротив, увеличивается, если ток уменьшается.

В параметрических стабилизаторах напряжения стабилитрон включен последовательно с балластным резистором R_S, имеющим постоянное сопротивление, и параллельно с нагрузкой R_L (рис. 4.2). Поэтому параметрические стаби-

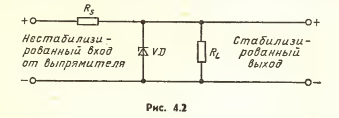


Рис. 4.2

лизаторы относятся к разряду параллельных стабилизаторов. Для получения отрицательного выходного напряжения достаточно изменить полярность входного напряжения и последовательность включения электродов стабилитрона.

Ток, протекающий через резистор R_S, равен сумме токов стабилитрона и нагрузки. При изменениях входного нестабилизированного напряжения напряжение на стаби-

литроне и нагрузке постоянно, и, следовательно, все изменение входного напряжения выделяется на резисторе R_S. Это приводит к изменению тока через резистор R_S и тока стабилитрона. Следует помнить, что нормальная работа стабилитрона гарантируется, если ток стабилитрона лежит в допустимых пределах.

Вернемся к рис. 4.2 для пояснения принципа работы параметрического стабилизатора. Если входное напряжение при постоянной нагрузке падает, то это приводит к уменьшению тока в резисторе R_S, следствием чего является уменьшение тока стабилитрона. При этом, как было сказано выше, увеличивается сопротивление стабилитрона по постоянному току, что равносильно росту сопротивления переменного резистора R_V в эквивалентной схеме параллельного стабилизатора, показанной на рис. 4.3. Эти процессы

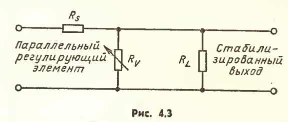


Рис. 4.3

вызывают уменьшение падения напряжения на резисторе R_S, что, в свою очередь, обусловливает постоянство выходного напряжения. Таким образом, вид вольт-амперной характеристики стабилитрона обеспечивает необходимое изменение сопротивления R_V регулирующего элемента.

При противоположном изменении входного напряжения направления изменения значений указанных величин также противоположны. Увеличение входного напряжения приводит к увеличению тока стабилитрона и, следовательно, к уменьшению его сопротивления по постоянному току. Это эквивалентно уменьшению сопротивления R_V на рис. 4.3, которое приводит к увеличению падения напряжения на резисторе R_S и, следовательно, к стабилизации выходного напряжения.

Рассмотрим теперь работу стабилизатора, если входное напряжение остается постоянным, а нагрузка изменяется. Пусть, например, ток нагрузки уменьшился. Так как входное напряжение постоянно и, следовательно, ток, протекающий в резисторе R_S, тоже постоянен, то уменьшение тока

нагрузки приводит к такому же увеличению тока стабилитрона, т. е. к уменьшению сопротивления стабилитрона по постоянному току. Уменьшение этого сопротивления в эквивалентной схеме рис. 4.3 приводит к сохранению падения напряжения на балластном резисторе R_S. Последнее означает, что при постоянном входном напряжении выходное напряжение остается постоянным. Напротив, с увеличением тока нагрузки ток стабилитрона уменьшается на то же значение, что обусловливает постоянство выходного напряжения.

Отметим еще раз, что в параллельных стабилизаторах при уменьшении тока нагрузки увеличивается ток регулирующего элемента. В параметрических стабилизаторах при отсутствии нагрузки ток стабилитрона может настолько возрасти, что превысит максимально допустимое значение, следствием чего может быть повреждение прибора.

При возникновении неисправностей в параметрических стабилизаторах можно рекомендовать произвести нижеследующие проверки, помогающие установить причины неисправностей. Проверьте, подключена ли к стабилизатору нагрузка. Если она отсутствует, то это может указывать на возможное повреждение стабилитрона. Измерьте входное напряжение с тем, чтобы убедиться, что оно подано и лежит в пределах допустимых отклонений.

Поскольку параллельный стабилизатор представляет собой регулируемый делитель напряжения, то необходимо измерить напряжения на выходе и на балластном резисторе R_S, чтобы проверить, лежат ли их значения в допустимых пределах. При измерении убедитесь в правильной полярности входного напряжения.

Если есть короткое замыкание в цепи нагрузки или обрыв в цепи резистора R_S, то выходное напряжение равно нулю. В первом случае напряжение на R_S будет равно входному напряжению, а во втором — нулю. Для измерения сопротивления резистора R_S отключите его из схемы. Если в цепи стабилитрона обрыв, то выходное напряжение больше нормального. При коротком замыкании стабилитрона выходное напряжение равно нулю. Если выходное напряжение выше нормального, то это указывает либо на обрывы в параллельном регулирующем элементе R_V или нагрузке, либо на недопустимое возрастание их сопротивлений. Уменьшение выходного напряжения может быть следствием увеличения сопротивления балластного резистора или недопустимого уменьшения сопротивления нагрузки.

Параллельный стабилизатор с регулирующим транзистором

На рис. 4.4 показана схема параллельного стабилизатора, где в качестве регулнрующего элемента используется биполяриый *n-p-n* транзистор, коллектор которого соединен с положительным полюсом выходного напряжения,

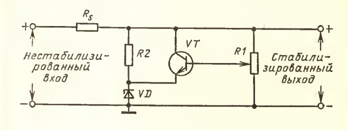


Рис. 4.4

а эмиттер через стабилитрон подключен к отрицательному полюсу. Стабилитрон выполняет здесь роль источника опорного иапряжения. Потенциал базы траизистора *VT* определяется положением движка потенциометра *R1*. Он устанавливается таким образом, чтобы эмиттерный переход транзнстора был смещен в прямом направлении (база положительнее эмиттера). Чем больше прямое смещение, тем больше коллекторный ток транзистора.

Выходное напряжение равно входному за вычетом падения напряжения на балластном резисторе R_S. Ток резистора R_S определяется суммой коллекторного тока транзистора *VT* и тока иагрузки. Поэтому изменеиие положения движка потеициометра *R1* определяет значение выходиого иапряжеиия.

Прннцнп работы стабилизатора сводится к следующему. Если по каким-либо причннам выходное напряжение увеличивается, то увеличивается и потенциал базы транзистора *VT*. Поскольку напряжение на эмнттере постоянно, то увеличение напряжения на базе приведет к росту коллекторного тока транзистора, при этом возрастет падение напряжения на R_S, что прнводит к уменьшению изменений выходного напряжения. При уменьшенни выходного напряжения иапряжение иа базе транзнстора уменьшается, что приводит к умеиьшению коллекториого тока. Поэтому сум-

марный ток, протекающий через резистор R_S, уменьшается, а это вызывает увеличение выходного напряжения.

По сути дела, принцип стабилизации здесь такой же, как и в любом параллельном стабилизаторе. Однако стабильность выходного напряжения увеличивается по сравнению с таковыми в параметрических стабилизаторах, так как транзистор является усилительным элементом и реагирует на незначительные отклонения выходного напряжения от заданного значения.

Ламповый параллельный стабилизатор

Параллельный стабилизатор, в котором роль регулирующего элемента выполняет ламповый триод *Л1*, изображен на рис. 4.5. Напряжение на катоде триода относительно земли постоянно, так как он соединен с газоразрядным

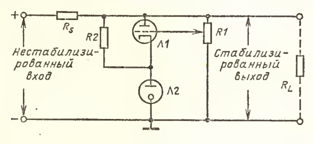


Рис. 4.5

стабилитроном *Л2*, необходимый режим работы которого обеспечивается резистором *R2*. На балластном резисторе R_S выделяется разность между входным и выходным напряжениями. Управляющим является напряжение между сеткой и катодом триода, равное разности напряжений на движке потенциометра *R1* и напряжения на стабилитроне *Л2*. Изменения выходного напряжения передаются через потенциометр *R1* на сетку лампы, при этом проводимость лампы меняется так, что происходит стабилизация выходного напряжения. Подобные стабилизаторы широко применяются в высоковольтных источниках питания видеомагнитофонов.

Последовательный стабилизатор

В последовательных стабилизаторах (рис. 4.6) резистор R_S с управляемым сопротивлением выполняет роль регулирующего элемента. Он образует с последовательно включенной нагрузкой R_L делитель напряжения, а сопротивле-

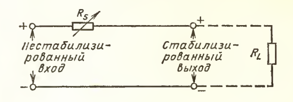


Рис. 4.6

ние R_S изменяется таким образом, что напряжение на нагрузке поддерживается на постоянном уровне.

В противоположность параллельным стабилизаторам потери мощности в регулирующем элементе возрастают с увеличением тока нагрузки. Если в параллельных стабилизаторах увеличение тока нагрузки приводит к уменьшению тока регулирующего элемента, то здесь это не так, поскольку регулирующий элемент и нагрузка включены последовательно. В связи с этим короткое замыкание нагрузки в последовательных стабилизаторах приводит к выходу из строя регулирующего элемента.

Ниже рассматриваются различные схемы последовательных стабилизаторов.

Последовательный стабилизатор с регулирующим транзистором

На рис. 4.7 показан последовательный стабилизатор, в котором транзистор *VT* выполняет роль регулирующего элемента. Он включен последовательно с нагрузкой R_L. Напряжение на базе транзистора фиксировано стабилитроном *VD*, режим работы которого задается с помощью резистора *R1*, при этом эмиттерный переход транзистора *VT* смещен в прямом направлении, а выходное напряжение стабилизатора почти равно напряжению пробоя стабилитрона *VD*. Напряжение между коллектором и эмиттером транзистора равно разности между входным и выходным напряжениями.

Принцип работы стабилизатора сводится к следующему. Если абсолютное значение входного напряжения возрастает, то увеличивается и выходное напряжение. Это значит, что потенциал эмиттера транзистора становится более отрицательным по отношению к земле. Так как по-

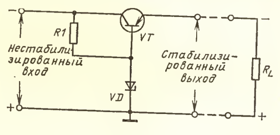


Рис. 4.7

тенциал базы фиксирован, то происходит уменьшение прямого смещения эмиттерного перехода, что, в свою очередь, уменьшает проводимость транзистора или увеличивает его сопротивление по постоянному току. Рост этого сопротивления при постоянном токе нагрузки обусловливает увеличение напряжения на регулирующем транзисторе и, следовательно, уменьшение значения выходного напряжения. При противоположном изменении входного напряжения все указанные величины изменяются в обратную сторону, что также стабилизирует выходное напряжение.

Последовательный ламповый стабилизатор

Последовательный стабилизатор с регулирующим ламповым триодом, приведенный на рис. 4.8, по принципу работы полностью совпадает с только что рассмотренным транзисторным стабилизатором. Триод *Л1* выполняет роль

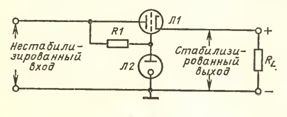


Рис. 4.8

регулирующего элемента, включенного между источником входного нестабилизированного напряжения и нагрузкой. Газоразрядный стабилитрон *Л2* поддерживает постоянным напряжение на сетке лампы *Л1*. При увеличении входного напряжения возрастает и выходное, а это уменьшает абсолютное значение управляющего напряжения между сеткой и катодом лампы: электропроводность триода уменьшается, что приводит к уменьшению изменения выходного напряжения.

Стабильность выходного напряжения рассмотренных последовательных стабилизаторов относительно невелика, так как они представляют собой параметрические стабилизаторы, в которых уровень и стабильность выходного напряжения определяются характеристиками стабилитронов и параметрами регулирующих элементов. Гораздо более лучшим качеством обладают компенсационные стабилизаторы напряжения, содержащие сравнивающие и усилительные устройства.

Последовательный компенсационный стабилизатор

В последовательном компенсационном стабилизаторе, структурная схема которого изображена на рис. 4.9, регулирующий элемент с управляющим входом включен между источником входного нестабилизированного напряжения

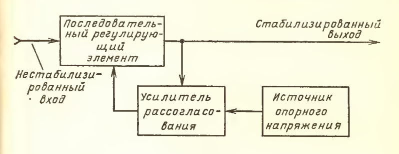


Рис. 4.9

и нагрузкой, подключаемой к стабилизированному выходу. Стабилизатор содержит контур отрицательной обратной связи, представляющий собой усилитель рассогласования, один из входов которого подключен к выходу стабилизатора, а второй связан с источником опорного

напряжения. Выход усилителя непосредственно воздействует на управляющий вход регулирующего элемента. Усилитель рассогласования реагирует на разность между опорным напряжением и выходным напряжением стабилизатора (или его частью). Эту разность называют сигналом рассогласования. Усиленный усилителем сигнал рассогласования, подаваемый на управляющий вход регулирующего элемента, изменяет сопротивление последнего так, чтобы препятствовать любым изменениям выходного напряжения стабилизатора, какими бы причинами оно ни вызывалось. Усилитель и источник опорного напряжения образуют схему управления стабилизатора.

Последовательный компенсационный стабилизатор на полупроводниковых элементах

В представленном на рис. 4.10 стабилизаторе регулирующим элементом является транзистор *VT1*, а транзистор *VT2* и соединенные с ним элементы образуют схему управления. Эмиттер транзистора *VT2* соединен со стабили-

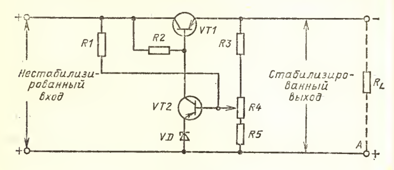


Рис. 4.10

троном *VD*, который здесь выполняет функции источника опорного напряжения. Управляющий электрод транзистора *VT2* (база) соединен с движком потенциометра *R4*, который совместно с резисторами *R3* и *R5* образует делитель напряжения, подключенный параллельно нагрузке R_L. Перемещение движка потенциометра вызывает изменение прямого смещения эмиттерного перехода транзистора *VT2*, что, в свою очередь, приводит к изменению коллекторного тока этого транзистора и напряжения на управляющем

электроде (базе) регулирующего транзистора *VT1*. В результате этого изменяется проводимость транзистора *VT1* и, следовательно, уровень выходного напряжения.

При настройке стабилизатора потенциометр *R4* устанавливается в такое положение, при котором достигается требуемый уровень выходного напряжения. Если абсолютное значение выходного напряжения по каким-либо причинам возросло, то потенциал базы транзистора *VT2* относительно точки *А* станет более отрицательным, при этом увеличится прямое смещение эмиттерного перехода транзистора *VT2*, так как напряжение на его эмиттере постоянно. Следовательно, возрастет коллекторный ток транзистора *VT2*, что приведет к уменьшению абсолютного значения отрицательного напряжения на его коллекторе. Последнее означает уменьшение прямого смещения на эмиттерном переходе регулирующего транзистора *VT1* и, следовательно, рост его сопротивления. Увеличение же сопротивления транзистора *VT1* препятствует росту выходного напряжения. Если входное напряжение изменяется в противоположную сторону, то приращения значений всех рассмотренных величин носят обратный характер.

Компенсационный ламповый стабилизатор

В стабилизаторе напряжения, схема которого изображена на рис. 4.11, роль регулирующего элемента, включенного последовательно с нагрузкой R_L, выполняет ламповый триод *Л1*, а схема управления состоит из лампового пентода *Л2* (усилитель рассогласования), газоразрядного

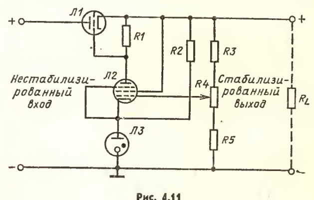


Рис. 4.11

стабилитрона *Л3* (источник опорного напряжения) и связанных с ними элементов, обеспечивающих требуемый режим работы. Анод стабилитрона *Л3*, соединенный через резистор *R2* с выходной шиной, имеет постоянный положительный потенциал относительно земли. Поэтому и напряжение на катоде пентода постоянно. Положение движка потенциометра *R4* определяет значение напряжения между управляющей сеткой и катодом пентода и, следовательно, анодный ток пентода, который, протекая по анодной нагрузке пентода (*R1*), создает в ней падение напряжения. Это напряжение является управляющим для регулирующего триода *Л1* и определяет значение выходного напряжения. Таким образом, регулируя положение движка потенциометра *R4*, можно установить требуемый уровень выходного напряжения. Если по каким-либо причинам выходное напряжение уменьшается, то это вызовет уменьшение напряжения на движке потенциометра *R4* и связанной с ним управляющей сетке лампы. Так как потенциал катода пентода *Л2* постоянен и положителен относительно земли, то уменьшение напряжения на сетке означает увеличение абсолютного значения отрицательного напряжения между управляющей сеткой и катодом, что приводит к уменьшению анодного тока пентода, при этом уменьшается падение напряжения на резисторе *R1*, а значит, уменьшается абсолютное значение отрицательного напряжения между сеткой и катодом регулирующего триода *Л1*. Последнее вызывает увеличение проводимости триода, что препятствует уменьшению выходного напряжения. Рост выходного напряжения приводит к противоположным изменениям всех указанных величин.

Пентод по сравнению с триодом имеет больший коэффициент усиления и обладает лучшими динамическими характеристиками. Поэтому применение его в качестве усилителя позволяет улучшить стабильность выходного напряжения. Существует много разновидностей компенсационных стабилизаторов, и некоторые из них мы рассмотрим в следующей главе.

В последовательных стабилизаторах через регулирующий элемент протекает ток, равный току нагрузки (или даже чуть больший). Если ток нагрузки превышает номинальное значение тока регулирующего элемента, то можно использовать параллельное соединение нескольких регулирующих элементов (электронных ламп или транзисторов) так, как это показано на рис. 4.12.

В некоторых случаях для повышения стабильности выходного напряжения требуется увеличить коэффициент усиления в контуре отрицательной обратной связи. Это может быть достигнуто включением дополнительных усилительных устройств в тракт усилителя рассогласования. На

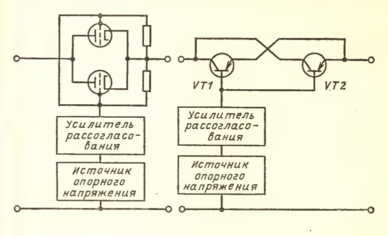


Рис. 4.12

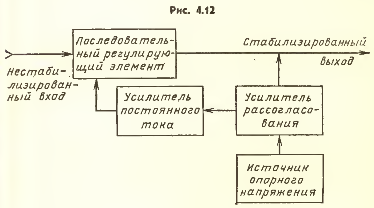


Рис. 4.13

рис. 4.13 усилитель рассогласования и источник опорного напряжения выполняют свои обычные функции, но между выходом усилителя рассогласования и управляющим входом регулирующего элемента включен усилитель постоян-

ного тока, который и позволяет улучшить качество стабилизации выходного напряжения.

В достаточно сложных электронных устройствах, требующих для своей работы нескольких уровней питающих напряжений, при построении стабилизаторов напряжения можно в некоторых из них исключить источник опорного напряжения: в качестве такового можно использовать выходное напряжение одного из других стабилизирующих источников питания.

Интегральные стабилизаторы напряжения

Развитие интегральной схемотехники произвело радикальный переворот в электронике, в том числе и в области разработки источников питания. В настоящее время получение стабильных выходных напряжений различного уровня не является проблемой, хотя каких-нибудь 20 лет тому назад создание подобных устройств электропитания требовало использования большого количества различных компонентов и значительных усилий инженера-разработчика. Мы уже кратко познакомились с тем, что представляют собой современные интегральные схемы.

Интегральный стабилизатор напряжения, конструктивно представляющий собой монолитную интегральную схему, функционально состоит из трех основных узлов. Один из них — источник опорного напряжения, которое остается постоянным при изменениях входного нестабилизированного напряжения, тока нагрузки и температуры. Другой — усилитель рассогласования, выходной сигнал которого пропорционален разности выходного и опорного напряжений. И наконец, третий — это чаще всего последовательный регулирующий элемент в виде биполярного транзистора.

Существует большое разнообразие типов интегральных стабилизаторов. Одни из них, такие, как 78XX и 79XX, трехвыводные. Они обеспечивают на выходе фиксированное значение постоянного напряжения, положительного или отрицательного. Один из выводов является общим для входа и выхода. Таким стабилизаторы очень широко используются, так как они недороги, просты в обращении и имеют внутреннюю защиту от перегрузок. В некоторых типах трехвыводных стабилизаторов предусмотрена возможность подстройки выходного напряжения. В других стабилизаторах стабильное выходное напряжение можно регулировать в значительных пределах, например от 2 до

37 В в стабилизаторах типа LM 317. Есть стабилизаторы, обеспечивающие два равных, но разнополярных выходных напряжения (например, ±15 В) относительно одной общей точки. Имеются так называемые «плавающие» стабилизаторы, выходное напряжение подобных источников превышает 40 В, и требуется дополнительный источник входного нестабильного напряжения, последовательно с которым и включается собственно стабилизатор. Уровень напряжения дополнительного источника изменяется («плавает»), поэтому стабилизатор находится под «плавающим потенциалом» относительно земли. Наконец, существуют ключевые, или импульсные, стабилизаторы постоянного напряжения. В них в отличие от линейных или непрерывных стабилизаторов, которые мы с вами рассматривали, сигнал управления, воздействующий на регулирующий элемент, а вместе с тем и режим работы регулирующего элемента имеют прерывистый (импульсный) вид типа включен — выключен. При этом для накопления энергии от входного источника и последующей передачи ее в нагрузку используются реактивные элементы — конденсаторы и индуктивности. Существует ряд интегральных схем, позволяющих нужным образом управлять работой ключевых регулирующих элементов. Но из-за наличия внешних реактивных компонентов импульсные стабилизаторы в целом более сложны, чем непрерывные, хотя и обладают рядом преимуществ.

Стабилизатор постоянного тока

В некоторых случаях для работы электронных устройств необходимо иметь источник стабильного постоянного тока, значение которого не изменяется при изменении сопротивления нагрузки. Схема, показанная на рис. 4.14 для не очень больших сопротивлений нагрузки, будет служить источником тока. Режим работы стабилитрона *VD* задается резистором *R2*. Так как стабилитрон пробит, то напряжение на нем постоянно и почти не изменяется с изменением входного напряжения, и при этом напряжение на сопротивлении *R1* практически равно напряжению на стабилитроне, и поэто-

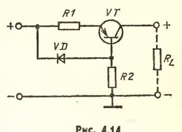


Рис. 4.14

му эмиттерный ток *p-n-p* транзистора *VT* постоянен. Следовательно, и ток коллектора, являющийся выходным током, тоже постоянен, если только напряжение на нагрузке R_L относительно земли меньше напряжения на сопротивлении *R2*.

Глава 5

44 ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

Ознакомившись с теоретическими основами работы источников питания, перейдем к рассмотрению конкретных устройств. Каждому из читателей вполне доступно выполнение любого из 44 предложенных источников питания, так как они не содержат дорогих или уникальных компонентов. При использовании компонентов, параметры которых совпадают с параметрами, указанными в приведенных принципиальных схемах, гарантируется выполнение источников с заданными значениями выходных напряжений и токов, которые можно применять для питания различных электронных устройств.

Следует помнить о мерах безопасности при монтаже, настройке и последующей эксплуатации источников. Поскольку большинство из них рассчитано на низкие уровни выходных напряжений, то первичным источником обычно является сеть переменного тока с действующим значением выходного напряжения 115 В. Мы уже говорили, что эта сеть представляет собой потенциальную опасность. Поэтому меры предосторожности соблюдайте неукоснительно.

В ряде случаев требуется получить другой уровень выходного напряжения, чем обеспечивает тот или другой представленный источник напряжения. Пользуясь здравым смыслом, не опасайтесь изменить компоненты для получения нужного вам результата. Помните, что при увеличении выходного напряжения трансформатора следует использовать компоненты, имеющие большие значения предельно допустимых напряжений. Аналогичное заключение справедливо в отношении к выходному току. Представляется очевидным, что если в схеме установлен резистор с номинальной мощностью 1 Вт, то вполне допустимо использовать вместо него резистор, рассчитанный на 2 Вт, тогда как установка резистора вдвое меньшей мощности недопустима. Если в схеме имеется трансформатор с выходным током 1 А, то при замене его трансформатором, рассчитанным на

2 А н те же напряжения, источник питания будет функционировать нормально, если только выходной ток источника не превышает значений, допустимых для данной конкретной схемы.

Как уже говорилось, большинство используемых сетевых трансформаторов рассчитано на входное напряжение 115 В. Если необходим источник с теми же параметрами, но работающий от сети 230 В, то используйте трансформатор с соответствующим первичным напряжением, но с тем же, что и у первого, значением напряжения на вторичной обмотке.

В описании представленных в этой главе источников питания нет указаний на их конкретное конструктивное выполнение, поскольку большинство из них так или иначе будут составлять неотъемлемую часть определенного электронного устройства. Здесь мы целиком полагаемся на здравый смысл читателя. Однако следует помнить, что любой источник питания, получающий энергию от сети переменного тока, необходимо поместить в изолированный или заземленный корпус, что предотвратит возможность контакта с ним окружающих. Необходимо также использовать в первичной цепи плавкие предохранители: отсутствие этой небольшой, но важной детали при неисправностях способно вызвать перегрев и возгорание источника.

Первые три из рассмотренных источников питания идентичны в том смысле, что имеют одинаковые уровни выходных напряжений и токов. С одной стороны, двухполупериодные выпрямители (схемы 2 и 3) обладают лучшими характеристиками. Но, с другой стороны, простота однополупериодного выпрямителя (схема 1), позволяет рекомендовать его применение в источниках с малым выходным током или тогда, когда необходимо на скорую руку срочно изготовить устройство питания.

Хотя в зависимости от нагрузки выходное напряжение этих трех источников составляет 12—15 В, при той же схемотехнике можно получить и другие уровни выходных напряжений. Для этого необходимо просто использовать элементы с другими параметрами. В большинстве случаев значения емкости конденсатора фильтра (500 мкФ) вполне достаточно, однако следует выбрать конденсатор с требуемым рабочим напряжением. Это же замечание касается максимальных обратных напряжений диодов, так как обратное смещение на диодах зависит от напряжения выходных обмоток трансформатора. Кремниевые диоды с обрат-

ным напряжением 1000 В широко распространены и недороги.

В рассматриваемых первых источниках используются диоды с напряжением 50 В. Если вы сочтете возможным использовать высоковольтные диоды, то у вас не будет проблем с созданием источников с высоким выходным напряжением.

Если в первой из трех схем вы поставите трансформатор с действующим значением выходного напряжения 300 В, то при холостом ходе на выходе установится постоянное напряжение около 500 В. Тогда потребуются и диоды с обратным напряжением не менее 1000 В, а рабочее напряжение конденсатора должно быть около 600 В. При таком уровне выходного напряжения в схему необходимо ввести еще один компонент, а именно дополнительный нагрузочный резистор, обеспечивающий, как мы знаем, определенные меры безопасности. Сопротивление резистора выбирается из расчета 100 Ом на каждый вольт выходного напряжения. Поэтому вполне можно использовать резистор, имеющий сопротивление 50 000 Ом и номинальную мощность 2 Вт, но лучше увеличить мощность резистора хотя бы до 5 Вт, при этом можно быть уверенным, что он останется цел.

Если же дополнительный резистор отсутствует, то заряженный до 500 В конденсатор фильтра при определенном стечении обстоятельств может представлять смертельную опасность!

Для получения такого же выходного напряжения в двухполупериодном выпрямителе с выводом нулевой точки необходимо было бы иметь 300 В напряжения на каждой из полуобмоток или 600 В на всей вторичной обмотке. Параметры остальных элементов остаются без изменений. При использовании для тех же целей мостового выпрямителя необходимо, чтобы напряжение на вторичной обмотке трансформатора составляло 300 В, и можно с хорошим запасом применить те же диоды.

До сих пор мы говорили о том, какие изменения необходимо сделать на вторичной стороне трансформатора, чтобы получить высокое выходное напряжение. Наверняка потребуются какие-то изменения и в первичной обмотке, и степень этих изменений будет определяться мощностью, которую должен обеспечить источник питания. Если в исходных источниках при напряжении 12 В выходной ток равен 1 А, то сеть переменного тока передает источнику мощ-

ность около 12 Вт. Ток в первичной цепи при этом равен 100 мА. Плавкий предохранитель, рассчитанный на 0,5 А, выдержит, не разрушаясь, ток, на 20 % превышающий номинальное значение. Однако если мы будем использовать высокое выходное напряжение, например 350 В, при том же выходном токе 1 А, то в нагрузку будет отдаваться мощность 350 Вт, а ток, потребляемый от сети, будет иметь значение около 3 А. Поэтому предохранитель на 0,5 А неизбежно перегорит. Чтобы этого не произошло, необходимо установить предохранитель, рассчитанный на 5—6 А, при этом ток 3 А пройдет беспрепятственно, но в случае короткого замыкания предохранитель разрушится. Дополнительно к сказанному необходимо изменить сечение провода первичной обмотки, поскольку ток в ней заметно возрастет.

Таким образом, вы можете заменить трансформатор в любом из названных устройств, с тем чтобы получить источник, удовлетворяющий вашим требованиям. При холостом ходе выходное напряжение примерно в 1,5 раза выше действующего значения напряжения вторичных обмоток (или полуобмоток в выпрямителе с выводом нулевой точки). При значительном потреблении выходное напряжение будет практически равно напряжению вторичной обмотки. Но остерегайтесь: увеличение выходного напряжения увеличивает и опасность тяжелого поражения электрическим током! Никогда не отключайте дополнительный нагрузочный резистор в любом источнике: наличие его свидетельствует о высоком выходном напряжении. Помните, что сеть переменного тока также является источником повышенной опасности.

Разработка источников питания с интегральными стабилизаторами

Какой бы источник питания ни разрабатывался, всегда целесообразно выделить логически и физически отдельные функциональные узлы. Например, сначала следует сосредоточить внимание на выборе трансформатора, преобразующего сетевое напряжение в уровень, необходимый для получения требуемого значения выпрямленного нестабилизированного напряжения при заданной нагрузке. Затем, когда выбран трансформатор и сделан выпрямитель, можно перейти к монтажу схемы стабилизатора, который конструктивно располагается на отдельной монтажной плате. Такой модульный метод облегчает понимание назначения

отдельных узлов, конструирование источника и отыскание неисправностей. Основные этапы разработки структурно представлены на рис. 5.1.

Если вы впервые беретесь за осуществление какого-либо из устройств, представленных в этой книге, то, возможно, задачу облегчит использование отдельной монтажной

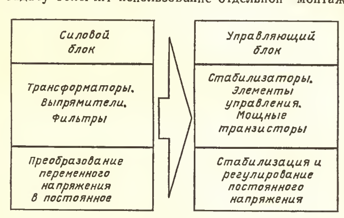


Рис. 5.1

платы, на которой монтируются компоненты стабилизатора. После настройки схемы вы сможете перейти к созданию постоянного варианта, использовав проводные соединения или более совершенную конструкцию.

Способы использования тех или иных интегральных стабилизаторов в рассмотренных далее источниках питания не являются единственно возможными. Например, прецизионный стабилизатор типа LM723 может работать при выходных напряжениях от 2 до 37 В и использоваться как линейный стабилизатор или элемент импульсного стабилизатора, а также может работать как стабилизатор тока. Информацию об этом можно получить, использовав соответствующие справочники, где также указывается, каким образом необходимо подключать к интегральным стабилизаторам внешние компоненты, расширяющие их функциональные возможности.

№ 1. Однополупериодный выпрямитель

Источник, выполненный на основе однополупериодного выпрямителя, нельзя использовать для питания различных

электронных схем, требующих стабилизированного напряжения питания. Однако простота схемы и легкость ее практической реализации делают его незаменимым при питании маломощных двигателей постоянного тока, вентиляторов и ряда маломощных электронных устройств, не критичных к качеству питающего напряжения. Схема источника питания показана на рис. 5.2 и содержит следую-

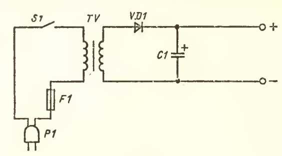


Рис. 5.2

щие компоненты: электролитический конденсатор *C1* — 500 мкФ, 50 В; диод *VD1* — 50 В, 2 А; плавкий предохранитель *F1* — 0,5 А; трансформатор имеет первичное напряжение 115 В, вторичное 12,6 В и выходной ток 1 А*.

Если вы внимательно изучили первые четыре главы этой книги, вы тотчас же узнаете в этой схеме обычный однополупериодный выпрямитель, состоящий из одного кремниевого диода и конденсатора, подключенных к вторичной обмотке трансформатора. Заметьте, что в целях защиты последовательно с первичной обмоткой включен плавкий предохранитель, рассчитанный на ток 0,5 А. Однополюсный выключатель *S1* используется для включения и выключения источника. В принципе он может отсутствовать или вместо него могут быть использованы контакты общего переключающего устройства, установленного в аппаратуре, получающей энергию от данного источника.

В качестве фильтра в схеме используется электролитический конденсатор *C1*, имеющий рабочее напряжение 50 В и емкость 500 мкФ. Значение емкости конденсатора

* В Советском Союзе наиболее распространена сеть с действующим значением напряжения 220 В. Поэтому при выборе трансформаторов следует ориентироваться на значение выходного напряжения. — *Прим. пер.*

достаточно велико, чтобы обеспечить хорошее качество выходного напряжения, которое было бы значительно хуже, если использовать, например, конденсатор с емкостью 50 мкФ. Если источник предназначен для питания только электромеханических устройств, таких, как реле, вентиляторы, электродвигатели и т. п., то значение емкости *C1* может быть уменьшено без каких-либо отрицательных последствий. Но не следует уменьшать номинальное рабочее напряжение конденсатора.

Маломощный сетевой трансформатор *TV*, используемый для питания цепей накала электронных ламп, рассчитан на 115 В входного напряжения и 12,6 В выходного. Последнее значение определено стандартами, хотя некоторые изготовители выпускают подобные трансформаторы с вторичным напряжением 12 В. Любой из них равнозначно можно применить в источнике питания.

Сборка источника питания тоже очень проста. Вы должны затратить на нее менее одного часа, если предположить, что корпус источника и место установки его готовы. Если вы предполагаете собрать его в металлическом кожухе, просверлите отверстия для установки переключателя *S1* и цилиндрического держателя плавкого предохранителя *F1*, если только не используете более простую конструкцию последнего. Необходимо также просверлить отверстие для шнура питания, который обеспечивает включение источника в сеть. Это отверстие необходимо снабдить резиновым кольцом, чтобы предотвратить возможность повреждения шнура питания острыми краями отверстия в металлическом кожухе. Не плохо было бы вместо двухполюсной вилки использовать трехполюсную, соединив контакт «Земля» этой вилки с металлическим кожухом. Однако это необязательно, особенно тогда, когда корпус источника выполнен из изолирующего материала.

Соедините выводы первичной обмотки трансформатора с одним из полюсов выключателя *S1* и предохранителя *F1*. Поскольку трансформатор является устройством переменного тока, то последовательность подключения выводов обмоток трансформатора может быть произвольной. Трансформатор должен быть надежно закреплен в кожухе. Многие трансформаторы имеют специальные крепежные отверстия и снабжены крепежными болтами и гайками.

Обсудим теперь выполнение выходной части источника питания. Диод *VD1* и конденсатор *C1* можно смонтировать либо на небольшой части унифицированной монтажной

платы, имеющей металлизированные отверстия, либо использовав изоляционную пластину длиной около 8 см, на которой закреплены клепкой монтажные лепестки. На рис. 5.3 показана вторая конструкция, где в качестве выходной монтажной планки используется стандартный приборный

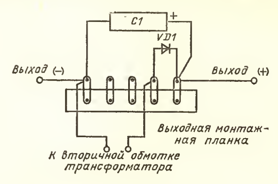


Рис. 5.3

изолятор с пятью лепестками, хотя задействованы только три из них. Центральный лепесток часто используется для обеспечения заземления с корпусом.

Запаяйте выводы конденсатора и диода так, как это показано на рис. 5.3. Затем присоедините выходные выводы источника питания к крайним лепесткам. Это не относится к выводам вторичной обмотки трансформатора, которые можно подключить произвольно. Однако конденсатор *C1* и диод *VD1* относятся к элементам, работающим на постоянном токе, и неправильная установка этих компонентов может привести либо к неработоспособности источника, либо к смене полярности выходного напряжения. Поэтому лишний раз убедитесь в правильности монтажа.

Выходные клеммы можно вывести за пределы корпуса источника питания или соединить с контактами штепсельного разъема, которым обеспечивается подключение источника к внешнему устройству. Можно выходные выводы соединить непосредственно к шинам питания оборудования, предназначенного для совместной работы с источником. Однако прежде чем это сделать, необходимо проверить правильность работы источника питания.

Перед включением вилки *P1* (см. рис. 5.2) в сеть 115 В внимательно проверьте все, что вы сделали. Удостоверь-

тесь в прочности паяных соединений, убедитесь в отсутствии коротких замыканий между компонентами, а также компонентов с металлическим корпусом. Перепроверьте правильность соединения диода и конденсатора. Обратите особое внимание на то, чтобы не были перепутаны выводы первичной и вторичной обмоток трансформатора. Если случайно это произойдет и вторичная обмотка будет включена в сеть, то, в лучшем случае, просто перегорит предохранитель, но, возможно, перед этим выйдут из строя диод и конденсатор. Внимательно осмотрите соединения переключателя и предохранителя, так как возможное короткое замыкание между этими элементами и вилкой способно стать причиной пожара, если почему-либо плавкий предохранитель не сработает. Хотя это случается и не часто, но напоминание о таких последствиях ошибок в монтаже необходимо, так как внимательность при сборке и соблюдение техники безопасности всегда должны быть на первом месте.

Если проверка вас удовлетворила, то удостоверьтесь, что выключатель *S1* разомкнут, и включайте вилку в сетевую розетку. При этом все должно остаться по-прежнему. Если же вы услышите низкий гудящий звук или увидите признаки дыма и электрического разряда, немедленно отсоедините вилку от сети и вновь проверьте монтаж. При отсутствии указанных признаков неправильной работы соедините измерительные выводы вольтметра постоянного напряжения с выходными выводами источника, следя за тем, чтобы были объединены между собой выводы одной полярности: положительный с положительным, отрицательный с отрицательным. Установите переключатель шкалы вольтметра в такое положение, чтобы максимальное значение было не менее 20 В. После этого, следя за показанием вольтметра, включите переключатель *S1*. Напряжение на выходе источника питания и соответственно показание вольтметра должны тотчас же увеличиться до значения 15 В, равного амплитуде действующего напряжения 12,6 В на вторичной обмотке трансформатора. Далее показание вольтметра должно оставаться постоянным. Выключите источник питания, переведя выключатель *S1* в положение «Выключено», и наблюдайте за вольтметром. Рассматриваемый источник питания не имеет дополнительного нагрузочного резистора, так как электромеханическая нагрузка, для работы с которой он предназначен, быстро разрядит конденсатор фильтра. Но в нашем случае единственной нагрузкой источника является вольтметр. Этот прибор по

смыслу своей работы должен потреблять от цепи, к которой он подключен, возможно меньший ток и обладает большим сопротивлением. Поэтому, если проверяемый источник функционирует нормально, выключение переключателя *S1* не приведет к заметному уменьшению выходного напряжения. Обратите внимание, что источник питания отключен от первичного источника энергии, однако заряженный конденсатор обеспечивает энергией измерительное устройство, которым является вольтметр.

Хотя вольтметр и обладает большим сопротивлением, но он все-таки потребляет некоторый ток от источника, и с течением времени увидите, что показание вольтметра начнет уменьшаться, и в конце концов выходное напряжение станет равно нулю. Эта проверка не только убеждает в работоспособности источника питания, но и прекрасно демонстрирует способность конденсаторов накапливать энергию, о которой мы говорили в предыдущих главах книги. Легко можно представить возможную опасность контакта с таким конденсатором, если напряжение на нем вместо 15 равно 1500 В.

Если при измерениях вольтметр показывал положительное напряжение, а после отключения источника от сети оно сразу же исчезло, это означает какой-то дефект в соединении конденсатора *C1* с остальными элементами выпрямителя: либо перепутана полярность включения конденсатора, либо он совсем не подключен. При этом выходное напряжение имеет пульсирующий вид, что вызывает колебания стрелки измерительного прибора. Поэтому подобные ошибки очевидны и перед выключением переключателя *S1*.

Возможно, что при включении переключателя *S1* показание вольтметра останется нулевым. Тогда необходимо перевести *S1* в выключенное состояние и вынуть вилку из розетки. Затем надо проверить правильность соединения измерительных выводов вольтметра с выходными полюсами источника. Если выводы перепутаны, а источник работал нормально, то стрелка вольтметра опустилась бы ниже нулевой отметки. Убедившись, что вольтметр подключен правильно, выньте плавкий предохранитель и проверьте его целостность. Еще раз напоминаем, что делать это можно только тогда, когда вилка шнура питания отсоединена от сети. В противном случае на контактах предохранителя присутствует сетевое напряжение вне зависимости от положения переключателя *S1*. Перегоревший предохранитель

свидетельствует о наличии коротких замыканий на входе или выходе источника. Это могут быть неисправности диода или конденсатора и, реже, межвитковые короткие замыкания в обмотках трансформатора. Дефект обнаруживается проверкой всех соединений и качеством используемых компонентов.

Если плавкий предохранитель цел, то причиной отсутствия выходного напряжения может быть обрыв в первичной или вторичной цепи, вызванный плохим качеством паяных соединений, неисправностями трансформатора, диода или конденсатора. Проведите проверку всех соединений и компонентов, и причина, скорее всего, выяснится.

При отсутствии видимых дефектов вновь вставьте вилку в сетевую розетку и включите переключатель *S1*. С помощью вольтметра переменного тока проверьте напряжение непосредственно на первичной обмотке трансформатора, значение которого должно быть 115 В. Если это так, то измерьте напряжение на вторичной обмотке: его отсутствие при наличии напряжения на первичной обмотке свидетельствует о неисправности трансформатора.

Убедившись в исправности трансформатора, отключите временно конденсатор фильтра и измерьте вольтметром постоянного тока напряжение на катоде диода. При нулевом показании вольтметра следует заменить диод. В противном случае вновь подсоедините конденсатор фильтра и измерьте напряжение в той же точке. Отсутствие показаний вольтметра в этом случае свидетельствует о неисправности конденсатора. Если вольтметр показывает нужное значение напряжения, а на выходе источника оно отсутствует, то имеется обрыв в выходном проводе.

Мы рассматриваем наиболее простой из источников питания, и столь подробные инструкции по отысканию неисправностей здесь вряд ли нужны: если и возникают неполадки, то в такой простой схеме причина их почти всегда очевидна. Однако последовательность определения возможных неисправностей лучше всего показать именно на таком простом примере. Она сохраняется с незначительными изменениями и для других, более сложных источников питания, которые будем рассматривать дальше.

Завершающими штрихами в конструировании источника питания могут быть включения различных компонентов, облегчающих работу с ним. Может быть, вы, например, захотите использовать индикатор, показывающий, что сетевое напряжение подключено к источнику питания. Сущест-

вуют специальные переключатели со встроенными светоиндикаторами, служащие этим целям.

Выходное напряжение рассмотренного источника при колебаниях напряжения сети и нагрузке будет изменяться от 12 В при максимальной нагрузке (около 750 мА) до 20 В при холостом ходе. Если для ваших нужд это напряжение велико, можно в выходную цепь последовательно включить резистор. Если резистор имеет переменное сопротивление, то он позволит регулировать выходное напряжение при подключенной нагрузке. Сопротивление резистора определяется необходимым уровнем выходного напряжения при заданной нагрузке. Если последняя потребляет 100 мА, то 1 В падения напряжения приходится на каждые 10 Ом сопротивления резистора.

Рассмотренный источник питания прост, недорог, не требует больших усилий в сборке и настройке и может использоваться, как уже говорилось, для питания электромеханических устройств и относительно простых электронных схем, не критичных к качеству питающего напряжения. Не следует, однако, применять его для питания устройств, содержащих интегральные микросхемы, микропроцессоры и т. п., поскольку нестабильность и пульсации выходного напряжения способны привести к ошибкам в работе этих схем. Ниже вы найдете устройства питания, пригодные для этих целей.

№ 2. Двухполупериодный выпрямитель с выводом нулевой точки

Однополупериодный выпрямитель вследствие низкого качества выходного напряжения не используется в источниках питания достаточно сложных электронных схем. Чаще всего для этой цели применяют двухполупериодные выпрямители, в частности двухполупериодный выпрямитель с выводом нулевой точки. В таких выпрямителях для получения постоянного выходного напряжения используются обе полуволны переменного входного напряжения. При этом увеличивается вдвое частота пульсаций выходного напряжения и обеспечивается более качественная его фильтрация. Схема двухполупериодного выпрямителя с выводом нулевой точки ненамного сложнее ее однополупериодного аналога: необходимо, чтобы вторичная обмотка трансформатора имела вывод средней точки, и требуется еще один диод. Полное напряжение на вторичной обмотке

трансформатора, равное сумме напряжений полуобмоток, грубо говоря, вдвое больше значения постоянного выходного напряжения. Первичная цепь такого источника полностью аналогична источнику питания с однополупериодным выпрямителем, в качестве фильтра также используется один конденсатор.

Схема источника питания представлена на рис. 5.4. Конденсатор фильтра, как и в предыдущей схеме, имеет рабо-

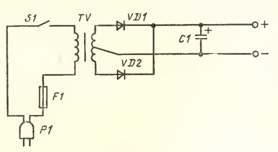


Рис. 5.4

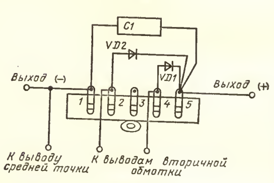


Рис. 5.5

чее напряжение 25 В и емкость 500 мкФ, двухамперные диоды имеют максимальное обратное напряжение 50 В, плавкий предохранитель рассчитан на 0,5 А, напряжение сети составляет 115 В, вторичная обмотка трансформатора *TV* обеспечивает полное напряжение 25,2 В при токе 1 А. Выходное напряжение имеет такое же значение, как и в предыдущем случае.

Конструкция источника питания тоже не претерпевает

заметных изменений: несколько отличается только расположенне элементов на выходной монтажной плате, как это изображено на рис. 5.5. Здесь осталось прежним соединение элементов *C1* и *VD1*, а также подключение выходных выводов источника (*1* и *5* позиций). Вывод средней точки трансформатора соединяется с позицией *1*, а основные выводы вторичной обмотки — к точкам *2* и *4*. Между позициями *2* и *5* включен второй диод *VD2*. В этом и состоят все различия. Применение конденсатора с емкостью 500 мкФ позволяет получить хорошее качество фильтрации выходного напряжения. Если уменьшить емкость конденсатора вдвое, то значения пульсаций в двух рассмотренных источниках будут одинаковы, хотя в первом из них конденсатор имеет вдвое большую емкость.

При увеличении компонентов выпрямителя, возможно, более целесообразно разместить его, так же как и фильтр, на специальной монтажной плате небольших размеров так, как это показано на рис. 5.6. На плате оставлено свободное место, на котором может быть установлен при необходимости параметрический стабилизатор с сопутствующими ему компонентами.

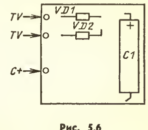


Рис. 5.6

Рассмотренное на рис. 5.6 соединение ненамного сложнее, чем в однополупериодном выпрямителе. После завершения сборки источника питания тщательно проверьте полярности соединения электродов диодов *VD1*, *VD2* и конденсатора *C1*. Необходимо также убедиться в том, что основные выводы вторичной обмотки трансформатора соединены с анодами диодов *VD1* и *VD2*, а средний вывод — с отрицательным электродом конденсатора *C1*.

Если вы уверены в правильности монтажа, то убедитесь, что переключатель *S1* разомкнут, и включите вилку *P1* в сетевую розетку. Как и прежде, это не должно вызывать никаких изменений в состоянии источника питания. Замкнув переключатель *S1*, подключите вольтметр к выходным выводам. Вольтметр должен показывать около 15 В постоянного напряжения, причем не должно быть колебаний в показаниях, а после размыкания выключателя *S1* выходное напряжение не должно мгновенно падать до нуля, а должно медленно уменьшаться.

В случае неисправности источника питания проведите все проверки, необходимые для выявления причины повреждения. В двухполупериодном выпрямителе проверку работоспособности вторичной цепи следует производить следующим образом. При нормальном функционировании первичной обмотки трансформатора подключите вольтметр переменного тока к основным выводам вторичной обмотки. Вольтметр должен показывать 25 В. Затем один из выводов вольтметра соедините со средним выводом вторичной обмотки и измерьте напряжения между средним и каждым из основных выводов вторичной обмотки. Если все функционирует нормально, показания вольтметра должны совпадать и составлять 12 В. После этого процедура проверки почти совпадает с вышеприведенной. Отсоедините временно конденсатор фильтра и измерьте вольтметром постоянного тока напряжение между средним выводом трансформатора и общей точкой соединения катодов диодов *VD1* и *VD2*. При нулевом показании вольтметра оба диода неисправны, при низком напряжении может быть обрыв в цепи одного из диодов. Если измерение показало нормальное напряжение, то вновь присоедините конденсатор *C1* и измерьте напряжение непосредственно в точке соединения диодов и конденсаторов. Отсутствие этого напряжения свидетельствует о коротком замыкании в конденсаторе. Наличие измеренного напряжения при отсутствии напряжения на выходе говорит о том, что существует обрыв в выходном выводе.

Как видите, процедуры отыскания неисправностей практически совпадают для двух рассмотренных источников питания. По-другому и не может быть, так как двухполупериодный выпрямитель — это, по сути дела, два параллельно включенных однополупериодных выпрямителя, работающих на общую нагрузку.

Разумеется, рассмотренный источник питания всегда может заменить устройство, выполненное на основе однополупериодного выпрямителя. Помимо этого, он применяется в блоках питания некоторых полупроводниковых схем, таких, как радиоприемники, некоторые управляемые компьютерные игрушки и т. п. Как и прежде, для получения меньшего выходного напряжения можно в выходную цепь включить резистор, сопротивление которого определяется требуемым уровнем напряжения и потребляемым током.

Рассмотренный источник питания, дополненный внешними стабилизаторами и другими устройствами, улучшаю-

щими его качественные показатели, чрезвычайно широко распространен. Ряд устройств питания, которые будем рассматривать ниже, используют в качестве основы двухполупериодный выпрямитель с выводом нулевой точки. Автор рекомендует монтировать его в небольшом алюминиевом кожухе. В этом случае вывод средней точки трансформатора и отрицательный электрод конденсатора *C1* соединяются непосредственно с корпусом, образующим общий отрицательный вывод (землю). Иногда конденсатор *C1* шунтируют резистором, имеющим сопротивление 5,1 кОм.

№ 3. Двухполупериодный мостовой выпрямитель

Двухполупериодные мостовые выпрямители, как и две предыдущие схемы, часто используются для построения нестабилизированных источников питания. Источник, показанный на рис. 5.7, выполнен на основе такого выпрямителя и обладает характеристиками, которые полностью идентичны характеристикам двухполупериодного выпрямителя с выводом нулевой точки. Все компоненты в приведенной схеме имеют такие же параметры, как и параметры элементов источника с выводом средней точки трансформатора. Отличие состоит в конфигурации собственно выпрямителя, а также в том, что вторичная обмотка трансформатора имеет только два вывода и напряжение на ней равно 12,6 В при 115 В входного напряжения.

Известно, что в мостовом выпрямителе для получения выходного напряжения используются две полуволны переменного входного напряжения. Поэтому, как и в двухполупериодном выпрямителе с выводом нулевой точки, частота пульсаций выходного напряжения вдвое больше частоты сети, что облегчает фильтрацию этого напряжения. В последнее время двухполупериодный выпрямитель становится все более популярным, если применяются полупроводниковые выпрямительные диоды. Несколько десятилетий тому назад, когда широко были распространены выпрямители на электронных лампах, мостовые схемы выпрямления почти не применялись, поскольку необходимо было использовать четыре лампы, которые требовали специального источника питания цепей накала, выделяли много тепла и были довольно дорогими по сравнению с полупроводниковыми диодами. К тому же монтаж ламп также представлял известные затруднения.

Двухполупериодиый мостовой выпрямитель в настоящее время можно предпочесть и из соображеиий экоиомии. Кремииевые диоды продаются в магазииах по 10 центов за штуку, так что отнюдь не оии определяют стоимость устройства.

Сетевой траисформатор обычно является самым дорогим компоиеитом в иестабилизированиых источниках питаиия с полупроводииковыми выпрямителями. Если говорить о рассмотреииых схемах, то трансформатор с выводом иулевой точки и общим вторичным напряжеиием 25,2 В обычно дороже траисформатора с общей вторичой обмоткой с выходиым иапряжеиием 12,6 В. Поэтому источник с двухполупериодиым мостовым выпрямителем, как правило, более предпочтителен, чем источиик, использующий выпрямитель с выводом иулевой точки.

Вернемся к рис. 5.7. Обратите внимание, что первичная цепь и фильтр, включенный иа выходе выпрямителя, пол-

Рис. 5.7

иостью идентичиы двум предыдущим схемам. Вторичиая обмотка траисформатора двумя своими выводами включена в одиу диагоиаль мостовой схемы, образованной двумя ветвями, каждая из которых состоит из двух последовательно соедииенных диодов, при этом выводы обмотки соединяются с точками объедииения разиоименных электродов диодов (анода и катода). В другую диагональ моста включен электролитический конденсатор, имеющий рабочее напряжение 50 В и емкость 500 мкФ. Конструктивио выпрямитель и фильтр лучше расположить на отдельиой моитажной плате, при этом иеобходимо следить за правильно-

стью объединения электродов диодов и полярностью подключения электролитического конденсатора, отрицательный электрод которого должен быть соединен с той точкой моста, где объединены аноды выпрямительных диодов.

Упростить монтаж источника и сократить время сборки можно за счет использования интегральной схемы двухполупериодного выпрямителя, внешний вид которой показан на рис. 5.8. Такие схемы очень широко распространены. Внутри корпуса, имеющего четыре внешних вывода, содержится мостовая схема из четырех диодов. Выводы для подключения переменного напряжения (выводов вторичной обмотки трансформатора) чаще всего обозначены символами переменного тока. Выходные выводы обычно снабжены знаками + и —, указывающими полярность выходного напряжения. Как правило, такой интегральный выпрямитель проще использовать, и он стоит дешевле четырех отдельно взятых диодов.

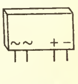


Рис. 5.8

Для монтажа источника питания с интегральным мостовым выпрямителем можно использовать либо небольшой отрезок унифицированной монтажной платы с металлизированными отверстиями, либо монтажную планку с лепестками. Можно также прикрепить корпус выпрямителя непосредственно к корпусу трансформатора, использовав для этого две-три капли эпоксидной смолы. Как и всегда, тщательно следите за соответствием монтажа принципиальной схеме.

Разумеется, работа источника питания, выполненного и с применением интегрального выпрямителя, и с использованием дискретных диодов, абсолютно идентична. Многие могут возразить, что применение интегрального выпрямителя влечет за собой тот недостаток, что неисправность одного из диодов мостовой схемы требует замены всего корпуса. В случае применения дискретных компонентов этот недостаток, очевидно, отсутствует. Однако цена интегральных выпрямителей так невелика, что здесь нет предмета для разговора: всегда целесообразно использовать один корпус интегрального выпрямителя, который обладает большей надежностью и заметно упрощает монтаж схемы.

После сборки источника питания произведите тщательную визуальную проверку монтажа. Этого правила следует придерживаться при изготовлении любых электронных ус-

тройств. Иногда целесообразно слегка пошевелить соединительные провода вблизи мест пайки, наблюдая при этом за целостностью паяного соединеиия. Тусклая или шероховатая поверхность паяного соединеиия всегда является признаком плохого коитакта, который в будущем, если только не сразу, приведет к иеисправностям в работе.

Процедура дальнейшей проверки работоспособности источника питания остается прежией. Начинается она с подведения напряжения сети к первичной цепи при разомкнутом переключателе *S1*.

Если после включения *S1* выходное иапряжение отсутствует, то при использовании дискретных компонентов следует подозревать какую-то неполадку в блоке выпрямителя. Это может быть ошибка в полярности включеиия одного из диодов, которая может вывести из строя и другие диоды. Проверка прямого и обратиого сопротивлений диодов с помощью омметра поможет быстро иайти иеисправный диод. Следует помнить, что проводить измерение сопротивлений диодов можно только при отключенной сети. Все последующие действия при отыскаиии неисправностей мы уже подробно рассмотрели на примере первых двух источников питания.

Выходное иапряжение источника с мостовым выпрямителем эквивалентно напряжению источиика, выполнениого на основе двухполупериодного выпрямителя с выводом иулевой точки. Если по каким-либо причинам вас не удовлетворяет уровень пульсаций выходного напряжения, включите параллельно с конденсатором *C1* еще один точно такой же. Следите при этом за соблюдением требуемой полярности соединения электродов конденсаторов.

Рассмотренный источник можно использовать в цепях питания различных электромеханических и электронных устройств. При включении в выходиую цепь резистора его можно применять для питания радиоприемиика, который в этом случае будет работать точио так же, как и от сухих батарей. В устройствах с перемеиной нагрузкой подобные источники применять не рекомеидуется, поскольку при изменении тока нагрузки в большом диапазоие существенно изменяется и выходное напряжение. Это может привести к сбоям в работе электрониых устройств. Большинство радиочастотных электроиных схем ие смогут иормальио фуикциоиировать с этим источником, особеиио если это частотозадающие устройства. Как в этих, так и во многих других случаях требуется примеиение стабилизаторов напряжения.

№ 4. Источник питания с параметрическим стабилизатором напряжения

Снабдив любой из рассмотренных источников питания стабилизатором, можно обеспечить работоспособность различных электронных устройств, критичных к изменениям питающего напряжения. К наиболее простым стабилизаторам напряжения относятся параметрические стабилизаторы, выполненные на основе полупроводниковых стабилитронов, принцип действия которых мы уже рассматривали достаточно подробно. Стабилитрон, подключенный через балластный резистор к источнику входного нестабилизированного напряжения, является довольно хорошим стабилизатором. Следует только помнить, что рабочим режимом работы стабилитрона является режим пробоя *p-n* перехода. Если входное напряжение либо равно, либо меньше напряжения пробоя стабилитрона, то применение параметрического стабилизатора бессмысленно. Если же входное напряжение превышает напряжение пробоя стабилитрона, то *p-n* переход последнего пробивается, напряжение на стабилитроне остается практически постоянным, а при изменениях входного напряжения в допустимых пределах изменяется ток стабилитрона и падение напряжения на балластном резисторе.

На рис. 5.9 представлен простой параметрический стабилизатор, состоящий из балластного резистора *R1* и ста-

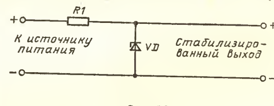


Рис. 5.9

билитрона *VD*. Заметьте, что выводы от электродов стабилитрона образуют стабилизированный выход. Здесь можно использовать стабилитрон с напряжением пробоя 12 В и максимальной рассеиваемой мощностью 0,5 Вт. Не возбраняется применение стабилитрона с напряжением стабилизации 15 В, но необходимо следить, чтобы мощность, выделяющаяся в нем, не превышала предельно допустимой. Не очень хорошо в качестве входного источника использо-

вать однополупериодный выпрямитель. Более целесообразно этот стабилизатор применять совместно с двухполупериодными выпрямителями.

Если необходимо выходное напряжение 12 В, то резистор *R1* должен иметь сопротивление 180 Ом и номинальную мощность 1 Вт. Увеличение выходного напряжения до 15 В требует применения соответствующего стабилитрона и уменьшение сопротивления резистора *R1* до 120 Ом. Здесь же можно воспользоваться стабилитронами с напряжением пробоя 5, 6 или 9 В, увеличив соответствующим образом сопротивление *R1*. Во всех случаях необходимо следить, чтобы мощность, выделяющаяся в стабилитронах, не превышала максимально допустимое для них значение.

При сборке источника питания обратите особое внимание на полярность подключения выводов стабилитрона. Так как стабилитрон должен работать при обратном смещении, то изменение полярности приведет к отсутствию выходного напряжения. Конструктивно стабилизатор можно совместить с выпрямителем или выполнить на отдельной монтажной плате с металлизированными отверстиями, в которых запаяны резистор *R1* и стабилитрон *VD*. Последний случай иллюстрируется рис. 5.10. Если выводы нестабилизированного источника питания образованы гнездами и клеммами, имеющими металлическую основу с резьбой, то в монтажной плате стабилизатора можно высверлить два отверстия и закрепить ее гайками непосредственно на клеммах входного источника. На этой же плате можно установить гнезда, образующие стабилизированный выход. Резистор и стабилитрон соединяются между двумя группами гнезд. Таким образом образуются как бы два автономных источника питания, один из которых имеет стабилизированный выход, а второй — нестабилизированный. При необходимости использовать источник с нестабилизированным выходом необходимо просто снять монтажную плату стабилизатора, открутив крепящие ее гайки. Можно и не делать этого, подключившись непосредственно к клеммам нестабилизированного источника. Последнее менее предпочтительно, поскольку стабилизатор образует до-

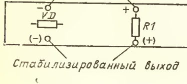


Рис. 5.10

полнительную нагрузку источника и влияет тем самым на значение выходного нестабилизированного напряжения.

Почему же стабилизатор не помещен в отдельный корпус? Ответ заключается в том, что здесь речь идет о низких уровнях напряжений, причем нет непосредственного контакта с первичной питающей сетью, а максимальное выходное напряжение выпрямителя не превышает 20 В. Само собой разумеется, что вы можете встроить стабилизатор, непосредственно соединив его с выпрямителем, и вывести наружу две группы гнезд, образующих стабилизированный и нестабилизированный выходы. В этом случае целесообразно в цепь стабилизатора напряжения установить однополюсный переключатель так, как это показано на рис. 5.11. Это обеспечит возможность отключения стабилизатора от выпрямителя тогда, когда в этом возникнет необходимость.

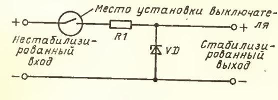


Рис. 5.11

Если допустить, что нестабилизированный источник питания работает нормально, то процедура проверки работоспособности стабилизатора очень проста. Убедившись в правильности монтажа и выключив источник питания, соедините измерительные щупы вольтметра постоянного тока с выходными выводами стабилизатора, следя за соблюдением полярности соединений. Установив необходимый диапазон измерения шкалы вольтметра, включите источник питания и считайте показание вольтметра. Оно должно совпадать со значением напряжения пробоя стабилитрона. Если это не так, измерьте входное напряжение стабилизатора. При отсутствии этого напряжения или его пониженном уровне необходимо искать неисправность в нестабилизированном источнике по тем правилам, которые мы подробно рассмотрели. В противном случае, когда выходное напряжение выпрямителя лежит в заданных пределах, отключите источник питания и вновь проверьте сборку ста-

билизатора. Вполне вероятно, что неправильно включен стабилитрон, неисправен резистор или где-то в монтаже соединений есть обрыв. Если выходное напряжение стабилизатора выше напряжения пробоя стабилитрона, то последний вышел из строя и его необходимо заменить. Однако, скорее всего, если используются проверенные и нормально функционирующие компоненты, источник питания сразу будет работать нормально.

Источник питания с параметрическим стабилизатором может обеспечить нормальное функционирование различных электронных цепей: маломощных передатчиков, радиоприемников, компьютерных игрушек и т. п. Параметрические стабилизаторы, являющиеся простейшим типом стабилизаторов и обеспечивающие достаточно стабильное выходное напряжение, все же непригодны для применения в высокочувствительной электронной аппаратуре, предъявляющей более жесткие требования к качеству питающего напряжения. Здесь уже необходимо использование компенсационных стабилизаторов.

Таким образом, хотя и не во всех случаях, но рассмотренный источник можно эффективно использовать для питания многих полупроводниковых устройств, в том числе и интегральных схем. Постоянство выходного напряжения обеспечивает нормальное функционирование таких устройств, если только потребляемый ими ток не очень велик. В нашем случае максимальный ток, который можно получить на выходе, составляет примерно 40 мА.

№ 5. Двухканальный источник питания

Во многих практических случаях для обеспечения работы тех или иных электронных устройств требуется иметь несколько источников с разными уровнями выходных напряжений. Решение этой проблемы обычным путем приводит к пропорциональному увеличению количества и стоимости используемых компонентов, общего объема устройства электропитания и снижению надежности его работы. Однако можно использовать иной путь. Например, для получения двухканального источника питания, имеющего одинаковые полярности выходных напряжений, значения которых отличаются в 2 раза, целесообразно применить схему, показанную на рис. 5.12. Здесь имеется один трансформатор, преобразующий 115 В входного напряжения в 12,6 В полного напряжения на вторичной обмотке, имею-

щей вывод средней точки. Все диоды одинаковы и имеют номинальный ток 2 А, а обратное напряжение 50 В. Также одинаковы электролитические конденсаторы *C1* и *C2* (500 мкФ, 25 В). Плавкий предохранитель *F1* рассчитан на ток 1 А.

На первый взгляд может показаться, что приведенная схема — это обычный двухполупериодный мостовой выпрямитель. При более внимательном рассмотрении оказывается, что имеющийся средний вывод вторичной обмотки трансформатора не заземлен, как было прежде, и образует положительный полюс второго выходного канала, имеющего более низкое напряжение. Что же это за схема? Мостовой выпрямитель или выпрямитель с выводом средней точки? Можно с уверенностью сказать: и то, и другое. Выводы вторичной обмотки, включенные в диагональ мостовой схемы, в совокупности со всеми четырьмя диодами образуют обычный мостовой выпрямитель. Но здесь также используется вывод средней точки для получения напряжения, значение которого в 2 раза меньше напряжения на выходе мостового выпрямителя. Двухполупериодный выпрямитель с выводом нулевой точки образован полуобмотками трансформатора и двумя диодами мостовой схемы, которые объединены своими анодами. Так как эта точка соединена с корпусом, то средний вывод положителен по отношению к корпусу. Обратите внимание, что на каждом выходе включен свой конденсатор фильтра. Получение двухканального источника описанным способом предполагает минимальное увеличение количества используемых компонен-

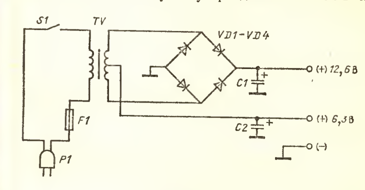


Рис. 5.12

тов. Выходные напряжения уменьшаются с ростом тока нагрузок, но независимо от этого одно всегда вдвое больше другого.

Отличие первичной цепи от предыдущих источников заключается только в увеличении номинального тока плавного предохранителя до 1 А. Это обусловлено увеличением потребления на вторичной стороне. Последняя причина объясняет и увеличение номинального тока вторичной обмотки трансформатора: при одинаковых токах нагрузки по обоим выходам этот ток возрастает вдвое.

Конструирование этого источника питания не должно вызывать затруднений. Начните со сборки мостовой части схемы, хотя здесь трансформатор и имеет вывод средней точки. Удостоверьтесь в правильности подключения основных выводов вторичной обмотки к требуемой диагонали мостовой схемы. Конечно, как и прежде, можно использовать либо дискретные диоды, либо интегральную схему моста.

Закончив сборку первой части источника, проверьте ее работоспособность так, как это было описано выше, и замените при необходимости неисправные элементы. Если мостовой выпрямитель работает нормально, то, выключив источник, соедините вывод средней точки вторичной обмотки трансформатора с положительным электродом конденсатора *C2* и вновь включите источник. Измерьте напряжение на втором выходе: оно должно быть вдвое меньше выходного напряжения мостовой схемы. Если последняя функционирует нормально, то выходное напряжение на втором канале обязательно должно быть. Его отсутствие свидетельствует либо о коротком замыкании в конденсаторе фильтра, либо об обрыве соединения со средней точкой вторичной обмотки.

При работе с двухканальным источником следует не забывать, что два выходных канала образуются с помощью одной схемы. Увеличение потребления тока по одному из каналов вызовет уменьшение напряжений как одного, так и второго каналов. Поскольку номинальный ток вторичной обмотки равен 2 А, то значение тока, отдаваемого двумя каналами с определенным запасом, не должно превышать 1,5 А. Таким образом, можно с каждого канала получить ток 750 мА, или 1 А с одного и 600 мА с другого. Главное, чтобы суммарный выходной ток не превышал максимально допустимого значения.

Некоторую универсальность двухканальному источнику

питания придает последовательное включение резисторов в выходные цепи так, как это показано на рис. 5.13. Сопротивления резисторов определяются как требуемым уровнем выходных напряжений, так и потребляемым током.

Рис. 5.13

Если токи нагрузок составляют 500 мА, то на сопротивлении 2 Ом падение напряжения равно 1 В. В ненагруженном канале с более высоким уровнем выходного напряжения его значение равно примерно 18 В. Если электронное устройство потребляет 500 мА тока и требует 12 В напряжения, то необходимо установить резистор $R1$ с сопротивлением 6 Ом. Для этой цели лучше использовать резистор с сопротивлением, регулируемым от 0 до 10 или 15 Ом. Если к тому же и ток нагрузки может меняться, а напряжение должно оставаться неизменным, то лучше использовать переменное сопротивление с максимальным значением 50 Ом. В тех случаях, когда ток нагрузки точно известен и не изменяется, достаточно установить резистор с постоянным сопротивлением, рассчитав его соответствующим образом. Пусть, например, необходимо обеспечить падение напряжения 5 В при токе 100 мА. Для определения сопротивления необходимо воспользоваться законом Ома, выражающимся формулой $U=IR$, где U — падение напряжения, В; I — значение тока, А; R — сопротивление, Ом. Приведенная формула дает возможность найти напряжение, если ток и сопротивление известны. Если необходимо найти сопротивление по заданным напряжению и току, то, очевидно, напряжение нужно разделить на ток: $R=U/I$. В рассматриваемом случае получаем $R=5/0{,}1=50$ Ом, так как 100 мА составляет 1/10 часть ампера.

Таким образом, при заданных нагрузке и уровне выходного напряжения всегда можно найти сопротивление, которое необходимо установить последовательно с выхо-

дом источника питания. Однако этого мало. Необходимо также рассчитать мощность, которая выделяется в резисторе. Формула для такого расчета имеет вид $P = I^2R$, где P — мощность, выраженная в ваттах; I — ток в амперах; R — сопротивление в омах. Использовав ее для расчета в нашем случае, получим $P = (0{,}1)^2 \cdot 50 = 0{,}5$ Вт. Этот подсчет показывает, что мощность, выделяющаяся в резисторе 50 Ом, равна 0,5 Вт, но отнюдь не говорит о том, какой же резистор необходимо установить. Если установить резистор с номинальной мощностью 0,5 Вт, то такой резистор работал бы на пределе своих возможностей. Более надежно применить в этом случае резистор с номинальной мощностью 1 Вт, обеспечивающий 50 %-ный запас прочности.

Рассмотренный пример продемонстрировал методику расчета сопротивлений последовательно включенных резисторов, обеспечивающих требуемый уровень выходного напряжения. Следует, однако, помнить, что все это справедливо при постоянном токе нагрузки. Если потребление тока от источника уменьшается, то напряжение возрастает. Напротив, с ростом тока напряжение падает и увеличивается мощность, выделяющаяся в резисторе. Поэтому данный способ получения нужного напряжения в нагрузке можно рекомендовать применять только тогда, когда нагрузка постоянна.

Может возникнуть необходимость использовать рассмотренный источник для питания электронных схем, требующих стабильного напряжения. В этом случае применение параметрических стабилизаторов поможет решить поставленную задачу. Для канала с более высоким уровнем выходного напряжения без всяких изменений вполне подходит стабилизатор, который мы рассмотрели в предыдущем параграфе. Низковольтный выход тоже может быть стабилизирован с использованием соответствующих стабилитронов. Конечно же, не возбраняется стабилизировать выход одного из каналов, оставив второй без изменения.

Если требуются более высокие уровни выходных напряжений, то необходимо использовать сетевой трансформатор с соответствующими напряжениями вторичной обмотки, применив также компоненты с более высокими значениями рабочих напряжений, при этом следует помнить о мерах предосторожности, которые необходимо соблюдать, работая с повышенными напряжениями.

№ 6. Двухканальный источник питания с разнополярными выходами

Для нормальной работы многих типов линейных интегральных схем требуется двуполярное питание. Источники питания таких электронных устройств должны вырабатывать два выходных стабильных уровня напряжений, значения которых одинаковы, а полярности относительно общей точки противоположны. Можно, конечно, для этой цели использовать два идентичных источника питания, каждый из которых содержит свой трансформатор, выпрямитель и фильтр, соединив с корпусом устройства у одного источника отрицательный выходной полюс, а у другого — положительный. Однако целесообразнее применить известные схемотехнические решения, которые позволяют получить разнополярные выходные напряжения с одним трансформатором.

Принципиальная схема двухканального источника питания с разнополярными выходами показана на рис. 5.14.

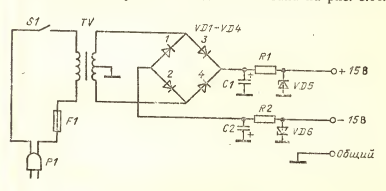


Рис. 5.14

Здесь сетевой трансформатор *TV* с первичным напряжением 115 В вырабатывает на вторичной обмотке с выводом средней точки полное напряжение 25,2 В; номинальный ток вторичной обмотки 0,5 А. Все диоды имеют максимальный прямой ток 2 А и обратное напряжение 50 В. Емкости конденсаторов фильтра *C1* и *C2*, как и прежде, равны 500 мкФ, а их рабочее напряжение составляет 50 В. На выходе установлены стабилитроны *VD5* и *VD6* с напряжением пробоя

15 В и номинальной мощностью 0,5 Вт. Балластные резисторы *R1*, *R2* с сопротивлением 10 Ом и рассеиваемой мощностью 2 Вт обеспечивают необходимый режим работы стабилитронов.

Источник питания формирует два выходных напряжения, значения которых равны 15 В, но одно положительно относительно корпуса, а второе отрицательно. Обратите внимание, что вторичная обмотка трансформатора имеет заземленный вывод средней точки, хотя по конфигурации приведенный здесь выпрямитель напоминает мостовую схему. Пусть вас это не смущает, поскольку рассматриваемая схема не является мостовым выпрямителем, а представляет собой совокупность двух двухполупериодных выпрямителей с выводом нулевой точки. Для того чтобы понять это, представьте себе, что из схемы исключены диоды *VD1* и *VD2*, а также все остальные компоненты, помеченные индексом *2*. Оставшаяся часть источника будет представлять собой стандартный двухполупериодный выпрямитель с положительным выходным напряжением (источник под номером *2* в настоящей главе).

Точно так же, если исключить из схемы диоды *VD3*, *VD4* и связанные с ними компоненты, оставшаяся часть схемы, включающая в себя диоды *VD1*, *VD2*, конденсатор *C2*, резистор *R2* и стабилитрон *VD6*, образует двухполупериодный выпрямитель с выводом нулевой точки, вырабатывающий отрицательное относительно корпуса напряжение. Обратите внимание, что одноименные электроды полярных компонентов (конденсаторов и стабилитронов) в каждом из выходных каналов подключены противоположно.

Рассматриваемый здесь источник питания очень похож на предыдущий. Отличие состоит в том, что с корпусом связан средний вывод вторичной обмотки трансформатора, а общая точка соединения анодов диодов *VD1* и *VD2* образует второй выход источника. Если подключить вывод средней точки к конденсатору *C2*, предварительно отсоединив его от анодов диодов *VD1*, *VD2*, а последние подключить к общей точке, то получим двухканальный источник питания с однополярными напряжениями, одно из которых вдвое больше другого. Разумеется, при этом пришлось бы изменить полярность подключения электродов конденсатора *C2* и стабилитрона *VD6*. Но здесь нас интересует получение разнополярных напряжений, что и обеспечивает схема на рис. 5.14.

Поскольку большинство линейных интегральных схем

требуют стабилизированного питания, то к выходам выпрямителей подключены параметрические стабилизаторы напряжения, почти такие же, какие мы рассматривали ранее в настоящей главе. К конденсатору фильтра *C1* положительного выходного канала подключен балластный резистор *R1*, который задает режим работы стабилитрона *VD5*. Напряжение пробоя стабилитрона *VD5* определяет значение выходного напряжения положительного канала. Точно так же обстоит дело со вторым отрицательным каналом. На конденсаторе фильтра *C2*, подключенном отрицательным электродом к анодам диодов *VD1*, *VD2*, образуется отрицательное нестабилизированное напряжение, которое затем стабилизируется цепью *R2*, *VD6*. При одинаковых напряжениях пробоя стабилитронов *VD5* и *VD6* значения выходных напряжений каналов будут одинаковы. Общей точкой двух выходных каналов является вывод средней точки вторичной обмотки трансформатора, соединенный с корпусом устройства питания.

Сборка источника питания не должна вызвать затруднения. Соединения в первичной цепи полностью эквивалентны тем, которые мы уже не раз рассматривали. Схема выпрямителя, напоминающая по конфигурации двухполупериодную мостовую схему, конструктивно может быть выполнена аналогично последней. Поскольку здесь имеются два выходных разнополярных канала, следует обратить особое внимание на полярности подключения различных полярных компонентов: четырех выпрямительных диодов, двух конденсаторов фильтра и двух стабилитронов. Запомните, что конденсаторы и стабилитроны разных каналов соединяются с корпусом противоположными электродами. Ошибки в монтаже любого из этих компонентов либо приведут к неправильной работе источника, либо выведут его из строя.

Вся вторичная часть, включающая в себя выпрямители, фильтры и параметрические стабилизаторы, должна быть выполнена на небольшой по размерам монтажной плате. Размер платы определяется в основном габаритами конденсаторов, но, по-видимому, квадратная монтажная плата со стороной около 100 мм вполне подойдет. Разместите сначала более миниатюрные компоненты, а затем конденсаторы. Рисунок 5.15 иллюстрирует сборочный чертеж такой платы.

Расположение компонентов на плате отвечает электрическим соединениям схемы источника питания. Диоды

смонтированы непосредственно в месте подключения выводов вторичной обмотки трансформатора. Конденсаторы расположены по краям платы. Обратите внимание на то, как расположены выводы электродов конденсаторов. Между конденсаторами размещены балластные резисторы, за

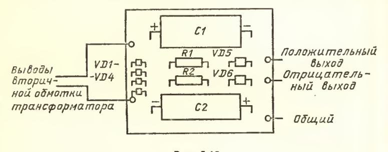


Рис. 5.15

которыми следуют стабилитроны. Выходные электроды стабилитронов соединяются непосредственно с выходными выводами источника. К общему выводу подсоединяется вывод средней точки вторичной обмотки трансформатора. Такую плату можно собрать относительно быстро, хотя следует быть очень внимательным, чтобы обеспечить правильность соединений.

После того как все элементы смонтированы, тщательно осмотрите расположение элементов, соединения между ними, проверьте правильность включения полярных компонентов. Особой сложности эта процедура не вызывает, так как схема источника питания относительно проста. Затем необходимо установить плату в кожух или на шасси, где расположен сетевой трансформатор. Установка платы весьма проста. Для этого необходимо высверлить четыре отверстия в углах платы вдали от проводников и компонентов. Диаметр отверстий определяется имеющимися в наличии крепежными винтами (обычно 3—4 мм). Такие же отверстия надо просверлить в шасси (рис. 5.16). Для крепления каждого винта используются три гайки. Одна из них (нижняя) надежно закрепляет винт на шасси, а две другие прочно соединяют винт с монтажной платой. Таким образом, болты образуют своеобразную стойку, на которой закреплена монтажная плата, которая при этом изолирована от корпуса. Можно, конечно, закрепить плату и другим способом, но этот представляется наиболее подходящим.

После сборкн н установки платы в нужное место соедините с платой выводы вторнчной обмотки трансформатора, а также подключите выходные выводы платы к выходным клеммам нсточника пнтания. Таким образом, сборка источ-

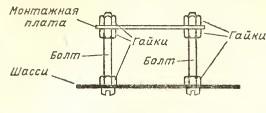


Рис. 5.16

ннка закончена, н необходимо заняться проверкой его работоспособности.

Начните с положнтельного канала выходного напряження. Соедннинте измерительные щупы вольтметра постоянного тока, максимальиое показанне шкалы которого превышает 15 В, с корпусом н выходиым выводом положительного канала. Следнте за соблюдением полярности соедннення выводов вольтметра. Затем замкните выключатель *S1* н наблюдайте за показанием прибора, которое должно составлять прнмерно 15 В: разброс показаний определяется разбросом напряжения пробоя стабнлитронов н точиостью вольтметра. Если выходное напряженне равно нулю, необходимо убедиться в целостности предохранителя н налнчии переменного напряжеиия на первнчной обмотке трансформатора. При налнчии переменного напряжеиня подключите положительный нзмерительиый щуп вольтметра постоянного тока к общей точке, а отрицательный к отрицательиой выходной клемме источиика пнтания. Если вновь вольтметр дает нулевое показаиие, то причнной этого могут быть неисправностн трансформатора, выпрямительных диодов или обрывы в соединительных проводах, обеспечивающих связь выводов вторнчной обмотки трансформатора со схемой выпрямнтеля.

Налнчне отрнцательного выходного напряжения прн отсутствни положнтельиого может свндетельствовать либо о неисправиостях днодов *VD3* и *VD4* или кондеисатора *C1*, либо о иалнчии обрывов в цепн резистора *R1* и проводнnках, соединяющих катод стабнлнтрона *VD5* с выходной клеммой положительного канала. В противоположной си-

туации, когда имеется положительное напряжение и отсутствует отрицательное, аналогичные неисправности могут быть в элементах, образующих отрицательный канал выходного напряжения.

При повышенных показаниях вольтметра, превосходящих значения напряжений пробоя стабилитронов *VD5* и *VD6* с учетом технологического разброса этого параметра, можно говорить о неисправности стабилитронов, если только вольтметр, которым вы пользуетесь, гарантирует заданную точность показаний. Убедиться в точности вольтметра можно, измерив с его помощью заранее известное напряжение. Не сделав этого, трудно доверять его показаниям. Если исправный вольтметр показывает 15,5 В, то это указывает на исправность источника питания, так как напряжение 0,5 В лежит в поле допуска напряжений пробоя стабилитронов. Однако наличие 18 В на выходе свидетельствует о какой-то неисправности в источнике питания.

Выходной ток каждого из каналов рассматриваемого источника составляет 125 мА, а общий ток, отдаваемый вторичной обмоткой, равен 250 мА и не превышает номинальное значение выходного тока трансформатора. При импульсном характере нагрузки значение тока, потребляемого от источника, может быть несколько больше.

Двухканальный источник с разнополярными выходными напряжениями можно использовать для питания самых различных электронных устройств. Лично мы применяли его в устройствах электропитания генераторов кадровой развертки телевизоров, радио- и телетайпных декодеров и других схем, большинство из которых требует для своего нормального функционирования именно таких уровней разнополярных напряжений (±15 В). Следует заметить, что многие электронные устройства с напряжением питания 12 В прекрасно работают и при напряжении 15 В, которое на 25 % превышает требуемое значение. Однако здесь следует соблюдать осторожность, поскольку не для всяких схем подобное увеличение напряжения питания допустимо.

Если необходим источник питания с напряжениями ±12,6 В, то он может быть получен из рассмотренного источника просто путем замены стабилитронов *VD5* и *VD6* на компоненты, имеющие соответствующее напряжение стабилизации. Стабилитроны с напряжением пробоя 12,6 В, возможно, будут несколько перегреваться. Для предотвращения этого необходимо увеличить сопротивления балластных резисторов *R1* и *R2* до 15—18 Ом.

Возможно получение и иных модификаций источника с разнополярными выходами. Например, оставив неизменным положительный канал с выходным напряжением 15 В, можно напряжение отрицательного канала сделать равным 12,6 В. Понятно, что, изменяя типы стабилитронов *VD5* и *VD6*, будем получать разнополярные выходы с различными уровнями напряжений. Следует при этом помнить, что установка стабилитронов с меньшим напряжением пробоя при постоянном нестабилизированном напряжении выпрямителей (около 18 В) приводит к увеличению мощности, выделяющейся в стабилитронах. Поэтому одновременно с заменой стабилитронов необходимо увеличить сопротивления резисторов *R1* и *R2*.

Многие, особенно начинающие радиолюбители испытывают определенные затруднения при оперировании термином «разнополярные напряжения». Напомним, что термин «напряжение» обозначает разность электрических потенциалов между двумя точками электрической цепи. В ранее рассмотренных источниках питания, имевших два выходных вывода (полюса), один из них (положительный) имеет более высокий потенциал по отношению ко второму (отрицательному). Точно так же можно сказать, что второй из указанных выводов (отрицательный) имеет более низкий потенциал относительно первого (положительного). Разность потенциалов (или напряжение) между первым и вторым выводами положительна. В этих двухвыводных или одноканальных источниках мы обычно заземляли вывод, имеющий более низкий потенциал, и получали источник питания с положительным выходным напряжением. В двухканальном источнике с разнополярными выходами потенциал земли отрицателен по отношению к положительному выводу, но в то же время потенциал земли положителен относительно отрицательного вывода. Земля и соединенный с ней вывод средней точки вторичной обмотки трансформатора образуют общую точку (полюс) двух разнополярных источников напряжения.

№ 7. Источник питания с последовательным стабилизатором с выходным напряжением 9 В

Три-четыре десятка лет тому назад очень широко были распространены низковольтные источники питания с выходным напряжением 6 или 12 В. Но с развитием транзисторной техники все чаще стали использоваться источники

с напряжением 9 В. В маломощных устройствах, в частности в портативных радиоприемниках, в качестве источников питания используются стандартные гальванические элементы, соединяемые между собой последовательно для получения нужного уровня напряжения. Некоторые из устройств, рассчитанные на напряжение питания 9 В, одинаково хорошо будут работать и от 12, и от 6 В. Однако во многих случаях подобные колебания напряжения питания недопустимы и требуется получение стабильного напряжения 9 В.

В настоящее время промышленность выпускает недорогие миниатюрные маломощные источники питания подобного типа, выполненные в виде сетевой вилки, непосредственно подключаемой к розетке. Двухпроводный выходной кабель такого источника соединяется с зажимами питания радиоприемника и обеспечивает его нормальную работу. Качество выходного напряжения этих источников питания может быть различным. Если отсутствует стабилизация выходного напряжения, то пульсации выходного напряжения выпрямителей приводят к появлению звукового фона на выходе радиоприемника. Это особенно справедливо для качественных стереорадиоприемников с частотной модуляцией (ЧМ) радиосигналов, хотя для простых приемников с амплитудной модуляцией (АМ) наличие пульсаций питающего напряжения не является помехой в работе. Существует также множество других электронных устройств, требующих для своего нормального функционирования стабильного выходного напряжения 9 В.

Мы уже говорили, что наиболее эффективными и распространенными стабилизаторами являются стабилизаторы последовательного действия. Степень сложности последовательных стабилизаторов определяется уровнями выходного напряжения. Все они, однако, имеют гораздо лучшие характеристики, чем параметрические стабилизаторы, выполненные на полупроводниковых стабилитронах.

На рис. 5.17 представлен источник питания, содержащий простейший последовательный стабилизатор. Элементы схемы имеют следующие параметры: конденсатор *C1* — 1000 мкФ, 25 В; конденсатор *C2* — 100 мкФ, 25 В; диоды *VD1* — *VD4* — 1 А, 50 В; стабилитрон *VD5*—9,1 В, 0,5 Вт; резистор *R1* — 620 Ом, 0,5 Вт; транзистор *VT*—ECG 124 (SYLVANIA); плавкий предохранитель *F1* — 0,5 А. Сетевой транзистор *TV* рассчитан на входное напряжение 115 В, выходное 12,6 В при номинальном токе 1 А. Источник пи-

тания обеспечивает стабильное выходное напряжение 9 В при номинальном токе 400 мА. Если вы хотите получить такой выходной ток, то транзистор *VT* необходимо установить на металлическом радиаторе. При выходном токе 200 мА можно обойтись и без этого, хотя лучше использо-

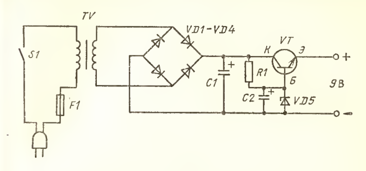


Рис. 5.17

вать радиатор, чтобы можно было при необходимости обеспечить в нагрузке максимальный ток. Радиатором может служить алюминиевая пластина или корпус, в котором монтируется источник питания, если только вы не используете специальный радиатор, приобретенный в магазине радиотоваров вместе с транзистором.

В приведенной схеме регулирующий транзистор *VT* включен последовательно между выходом выпрямителя и положительным полюсом источника напряжения. Стабилитрон *VD5* с напряжением пробоя около 9 В (в практической схеме оно составляло 9,1 В) определяет потенциал базы транзистора *VT* относительно отрицательного полюса источника питания, а тем самым и значение выходного напряжения, так как положительное смещение между базой и эмиттером транзистора *VT* относительно мало.

Нестабилизированная часть источника питания выполнена на основе двухполупериодного мостового выпрямителя, имеющего конденсатор фильтра *C1* с емкостью 1000 мкФ, хотя можно было бы и уменьшить емкость в 2 раза. Наконец, резистор *R1* обеспечивает необходимый режим работы стабилитрона *VD5* и транзистора *VT*, а конденсатор *C2* совместно с резистором *R1* образуют дополнительный фильтр.

Перейдем к конструированию источника питания. Сетевой трансформатор и компоненты, включенные в первичную

цепь, монтируются в специальном кожухе или в специально отведенном для этого месте в корпусе всего устройства, которое вы собираете. Выпрямитель, фильтр и стабилизатор целесообразно собрать на небольшой унифицированной монтажной плате с металлизированными отверстиями или использовать печатную плату с заранее выполненным рисунком печатных проводников. Более практично применение унифицированной платы, если расположить на ней элементы так, как показано на рис. 5.18. Размеры конденсато-

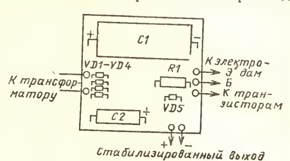


Рис. 5.18

ра *C1*, наиболее крупного элемента схемы, определяют размер платы. Остальные компоненты не столь велики и занимают заметно меньшее пространство. Если нет необходимости получить на выходе источника максимальный ток (400 мА), то можно на этой же плате разместить транзистор *VT*. В нашем случае транзистор устанавливается на специальном радиаторе, а электроды транзистора соединяются короткими проводниками с платой. Радиатор представляет собой обычно алюминиевую пластину, на которой закрепляется металлический корпус транзистора. В свою очередь радиатор устанавливается на металлическом шасси источника питания. Между плоскостью радиатора и корпусом транзистора обычно помещают изолирующую прокладку из непроводящего материала, а поверхность радиатора, прокладки и транзистора в месте их соединения смазывают специальной теплопроводящей пастой, при этом корпус транзистора после установки радиатора оказывается электрически изолированным от шасси источника питания, которое, по всей вероятности, будет иметь один потенциал с землей источника питания. Такая изоляция

необходима потому, что электрод коллектора транзистора чаще всего соединен с корпусом транзистора, и если не принять указанных мер, то произойдет короткое замыкание выпрямителя. Теплопроводящая паста обеспечивает хороший тепловой контакт корпусов транзистора и радиатора, что обеспечивает отвод тепла от корпуса транзистора и устраняет возможность его перегрева, чреватого выходом транзистора из строя. После установки транзистора можно вновь сконцентрировать свое внимание на монтажной плате.

Присоедините электроды транзистора к соответствующим выводам монтажной платы. Обратите особое внимание на эти соединения: ошибки в них могут вызвать не только неправильную работу источника, но и разрушение транзистора. Затем установите плату возле трансформатора, воспользовавшись способом, описанным в предыдущем параграфе. После этого выводы вторичной обмотки трансформатора соедините с нужными точками на плате, а выходные выводы платы подключите к внешним клеммам источника питания, установленным на корпусе устройства. После тщательного осмотра можно приступать к процедуре проверки работоспособности источника питания.

Подключив вольтметр постоянного тока к выходным клеммам, включите переключатель *S1* и наблюдайте за показаниями вольтметра. Если выходное напряжение равно нулю, отключите сетевое напряжение и проверьте целостность плавкого предохранителя. Перегорание предохранителя свидетельствует о серьезной ошибке в монтаже. Тщательно проверьте сначала соединения на стороне первичной обмотки трансформатора, а затем вторичной. Особое внимание следует обратить на правильность соединений диодов в выпрямителе и подключения электродов транзистора, а также на соблюдение необходимой полярности соединения электродов конденсаторов и стабилитрона. Обнаружив ошибку в соединениях или короткое замыкание в монтаже, внесите соответствующие поправки, замените предохранитель и вновь включите источник питания. Если вольтметр показывает нужное напряжение, то проверку можно считать законченной. В противном случае существуют неисправные полупроводниковые компоненты или короткие замыкания в трансформаторе. Отключите от выпрямителя элементы стабилизатора (резистор *R1* и коллектор транзистора *VT*) и измерьте напряжение на конденсаторе *C1*. Наличие напряжения около 18 В свидетельствует о том,

что нестабилизированная часть источника питания функционирует нормально, а неисправность следует искать в схеме стабилизатора. Проверьте транзистор *VT* и стабилитрон *VD5*, замените неисправный компонент, подключите стабилизатор к выпрямителю и повторите проверку источника.

Следует понять, что необходимо быть абсолютно уверенным в правильности монтажа перед включением источника. Во всех предыдущих случаях ошибки монтажа могут вывести из строя лишь такие недорогие компоненты, как выпрямительные диоды. В более сложных источниках питания эти ошибки вызывают порчу транзисторов или интегральных стабилизаторов напряжения. Поэтому совершенно необходимо соблюдать внимательность при сборке, чтобы предотвратить возможность дорогостоящих замен.

Если в процессе испытания показания вольтметра будут носить колебательный характер или выходное напряжение будет заметно отличаться от 9 В в бо́льшую или меньшую сторону, то существует большая вероятность того, что неисправен стабилитрон. Разумеется, при этом предполагается, что выпрямитель функционирует нормально. Отличие выходного напряжения от требуемого уровня может также свидетельствовать о неисправности сетевого трансформатора, ключевом режиме работы регулирующего транзистора и ряде других, довольно редких ошибок в работе источника питания. Мы разбираем здесь самые характерные неисправности, с тем чтобы читатель смог сам их устранить. Если вы будете аккуратны при сборке, осуществите необходимый контроль правильности соединений перед включением, то собранный источник питания сразу будет работать нормально.

После того как вы убедитесь в правильности работы собранного источника, его можно использовать в качестве устройства электропитания для любых электронных схем, требующих установленного уровня напряжения и потребляющих не более 400 мА тока. Если вы намереваетесь работать с радиоприемником, магнитофоном и т. п., то для подключения источника к подобным электронным схемам целесообразно использовать двухпроводный кабель, снабженный одним из многочисленных стандартных разъемов. Вообще говоря, вид выходного устройства источника — это дело вкуса исполнителя и определяется конкретным назначением источника питания. В любом случае следует остерегаться короткого замыкания между выходными вы-

водами, которое может привести к перегоранию предохранителя, но, скорее всего, придется при этом заменить и регулирующий транзистор, который, как и трансформатор, является наиболее дорогостоящим компонентом. Это один существенный недостаток подобных стабилизаторов: последовательные стабилизаторы без принятия специальных мер критичны к перегрузкам по току и коротким замыканиям на выходе.

Если в процессе эксплуатации регулирующий транзистор перегревается или выходит из строя, то причиной может быть слишком большое потребление тока от источника питания. В случае нормального потребления перегрев может быть вызван недостаточно большой теплоотводящей поверхностью используемого радиатора. Увеличить теплоотводящую поверхность можно, применив, например, ребристый радиатор. Все эти меры могут дать ожидаемый результат только в том случае, если существует хороший тепловой контакт между корпусом транзистора и радиатором. Если по каким-либо причинам этот контакт нарушен, неизбежен перегрев транзистора и, как следствие, выход его из строя, особенно при работе с выходным током, близким к максимальному.

Возможны некоторые модификации рассмотренного источника питания. Использовав стабилитроны с более низким напряжением пробоя, можно получить и более низкое значение выходного напряжения, например 5,6 или 7,5 В. Не исключено и получение напряжения 12 В при одновременном уменьшении потребляемого тока. Последнее значение является верхним пределом выходного напряжения в данном стабилизаторе: дальнейшее его увеличение приводит к заметному уменьшению напряжения между коллектором и эмиттером регулирующего транзистора, что ухудшает качество стабилизации или делает ее совсем невозможной. Для получения выходного напряжения более высокого уровня следует использовать трансформатор с бо́льшим напряжением вторичной обмотки.

Для увеличения выходной мощности источника питания нужно использовать более мощный сетевой трансформатор с теми же уровнями входного и выходного напряжений, при этом, конечно же, пришлось бы установить выпрямительные диоды с большим номинальным током и более мощный транзистор, оставив все остальные компоненты прежними. Просмотр справочных данных по транзисторам позволяет выбрать подходящий из них. Так как в нашем источнике

используется транзистор фирмы SYLVANIA, то, рассмотрев каталоги этой фирмы, можно выбрать, например, транзистор ECG 128, рассчитанный на ток 1 А. Этот транзистор необходимо было бы установить на радиатор большего размера. Конечно, можно было бы воспользоваться транзисторами других фирм-изготовителей, что, возможно, привело бы только к незначительным конструктивным изменениям. Однако целесообразно все-таки использовать компоненты широко известных фирм, особенно тогда, когда компоненты работают в режимах, близких к предельно допустимым.

№ 8. Зарядное устройство

В настоящее время значительное количество электронных устройств работают от автономных источников электропитания. Существует большое разнообразие таких источников: от небольших гальванических элементов с напряжением 1,3 В до портативных электрических батарей с напряжением 12 В. Если по мере истощения батарейных источников осуществлять их подзаряд, то они могут служить долгое время. Что же такое зарядное устройство? Это обычный источник питания, используемый для заряда батарей. Ток, потребляемый батареей от источника питания, течет в направлении от положительного полюса батареи к отрицательному. Если вспомнить, что при использовании батареи в качестве источника питания направление тока в ней противоположно указанному, то можно понять, что в нашем случае батарея потребляет энергию от зарядного устройства. Это вызывает электрохимическую реакцию, результатом которой является накопление электрических зарядов разного знака на соответствующих полюсах батарейного источника.

Зарядные устройства различной мощности могут быть достаточно сложными и содержать встроенные схемы слежения за током и напряжением в процессе заряда, схемы защиты от коротких замыканий и т. д. Однако можно выполнить и такое простое зарядное устройство, какое показано на рис. 5.19. Элементы приведенной схемы имеют следующие параметры: конденсатор *C1* — 1000 мкФ, 50 В; диоды *VD1* — *VD4*—100 В, 2 А; потенциометр *R1* — 5 кОм; транзистор VT — ECG 184; вольтметр постоянного тока *M1* — максимальное показание шкалы прибора 50 В. Трансформатор *TV* имеет вторичное напряжение 25,2 В

при номинальном токе 1 А и входном напряжении 115 В. Схема очень напоминает источник питания с последовательным стабилизатором, но с тем отличием, что проводимость транзистора можно изменять вручную, перемещая движок потенциометра *R1*. При этом изменяется и выходное напряжение источника питания. В целом этот источник питания проще, чем рассмотренный выше стабилизатор, и прекрасно выполняют функции зарядного устройства.

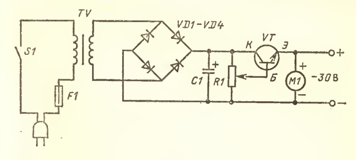


Рис. 5.19

Если говорить о принципиальной схеме, то здесь мы имеем обычный двухполупериодный мостовой выпрямитель с емкостным фильтром. Выходное напряжение выпрямителями равно примерно 38 В. Установка потенциометра *R1* и транзистора *VT* позволяет изменять выходное напряжение зарядного устройства между 0 и 30 В. Транзистор *VT* выбран с большим запасом по выходному току для того, чтобы его можно было использовать без радиатора. Номинальный ток транзистора равен 4 А, тогда как в этой схеме он не должен превышать 300 мА. Можно увеличить ток до 600 мА, если выходное напряжение больше 15 В. При уменьшении выходного напряжения увеличивается напряжение на транзисторе и, следовательно, растет выделяющаяся в нем мощность. Поэтому с уменьшением выходного напряжения ток, отдаваемый зарядным устройством, должен быть снижен.

Вольтметр постоянного тока *M1* позволяет контролировать уровень выходного напряжения зарядного устройства. Регулируя потенциометр *R1* и наблюдая за показанием вольтметра, можно установить выходное напряжение, которое необходимо для заряда конкретного батарейного источника питания. Таким образом, главным достоинством

рассматриваемого устройства является то, что его можно использовать в качестве источника питания для различных маломощных электронных схем, требующих напряжений от 1,5 до 30 В. На практике, однако, при наличии вольтметра с максимальным показанием шкалы 50 В трудно точно установить значение выходного напряжения, если оно лежит ниже 6 В. Для этого нужно было бы использовать вольтметр, имеющий шкалу 10 В, приняв необходимые меры по его защите при более высоких уровнях выходного напряжения.

Конструктивно зарядное устройство может быть выполнено почти так же, как и источник питания с двухполупериодным мостовым выпрямителем, который мы рассмотрели раньше. Целесообразно использовать интегральный мостовой выпрямитель, соединив его входные выводы с выводами вторичной обмотки трансформатора и закрепив корпус интегральной схемы на корпусе трансформатора с помощью эпоксидного клея. Затем в корпусе зарядного устройства необходимо высверлить отверстие для установки потенциометра, выводы которого соединяются проводниками с конденсатором фильтра *C1* и с электродом базы транзистора *VT*. Транзистор может быть закреплен на стандартной прямоугольной монтажной планке (рис. 5.20),

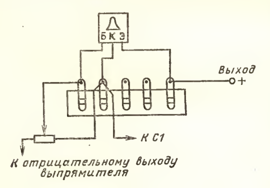


Рис. 5.20

в которой используются только три контакта. Центральный лепесток монтажной планки, как обычно, служит для соединения с корпусом прибора. Подобная конструкция позволяет использовать минимальный объем для монтажа. Если вы пользуетесь дискретными выпрямителями, то наи-

более целесообразно собрать выходную часть схемы на небольшом отрезке универсальной монтажной платы, предусмотрев необходимость подключения выводов соответствующих компонентов так, как это показано на рис. 5.21.

В корпусе устройства необходимо сделать еще одно отверстие для установки измерительного прибора. Можно приобрести небольшой вольтметр постоянного тока, приборная головка которого имеет диаметр около 50 мм. Такое отверстие можно сделать специальной фрезой. Если такой возможности не существует, то, наметив в нужном

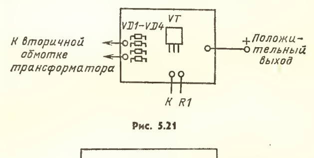


Рис. 5.21

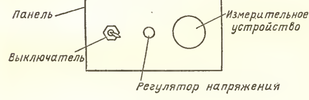


Рис. 5.22

месте окружность требуемого диаметра, высверлите по периметру внутреннюю часть этой окружности сверлом небольшого диаметра. Получится отверстие с зубчатыми краями, которые затем следует опилить полукруглым напильником. В результате этих операций передняя панель зарядного устройства может иметь вид, показанный на рис. 5.22.

При сборке, как всегда, будьте внимательны в обращении с полярными компонентами: диодами, конденсатором, транзистором и вольтметром. Если последний включен неправильно, то стрелка шкалы отклонится в обратную сторону. В этом случае необходимо просто изменить последовательность соединения подходящих проводников. Пере-

проверьте соедииеиия транзистора *VT*, убедитесь, что они сделаны верно. Лишииі раз загляиите в справочник, где приведено конструктивиое расположение электродов транзистора. Не допускайте контакта корпуса траизистора с корпусом зарядного устройства, так как электрод коллектора практическн всегда соединеи с корпусом транзнстора. Если возможность указаниого контакта между корпусами существует, оберните корпус траизистора изоляцнонной леитой.

Еслн при сборке зарядного устройства вы не допустили ошнбок, то для проверкн его работоспособности ие понадобится внешннй измерительный прибор, как это было во всех предыдущих случаях. Включив переключатель *S1*, следите за показанием нзмерительного прибора. При отсутствии выходного иапряжеиия необходимо проверить целостность предохраннтеля, наличие иапряжения на первичной обмотке траисформатора и т. д. После проверкн первнчной цепи убеднтесь еще раз в отсутствии короткнх замыканнй иа вторичной стороне и в правильности соедннения электродов полярных компонентов. Если есть сомнения в работоспособности измерительного прибора, временно отключнте его и воспользуйтесь внешнпм вольтметром.

При наличии выходного напряжеиия убеднтесь в возможиости его регулировки с помощью потенцнометра *R1*, подключнв предварнтельио к выходу устройства какую-ннбудь нагрузку. Если выходное напряженне измеияется от 0 до 30 В, то зарядное устройство функцнонирует нормально.

Для подзаряда какого-либо батарейного нсточника, например автомобнльного аккумулятора, необходнмо соблюдать следующую последовательность действнй. При выключенном зарядном устройстве потенцнометр *R1* следует установить в положение, соответствующее мнннмальному выходному иапряжению, и подключнть аккумулятор к выходу зарядного устройства, соблюдая полярность соединення выводов: положнтельный полюс аккумулятора соединяется с положительным выводом зарядного устройства, отрнцательный—с отрнцательным. После включеиия переключателя *S1*, вращая двнжок потеицнометра *R1*, нужно установнть выходное напряжение, равное номнналыюму напряжению аккумулятора (здесь 12 В). Таким образом вы сможете постоянно поддерживать автомобильиый аккумулятор заряженным, а также в течеиие иескольких часов восстановнть работоспособность других, менее мощных источников.

Рассмотренный источник питания универсален тем, что позволяет устанавливать выходное напряжение на уровне, который требуется для питания электронных устройств. Размеры его невелики, он вполне может уместиться в кармане пиджака. Следует заметить, что выходное напряжение источника не стабилизировано, и поэтому в таком виде для питания точных электронных схем он непригоден. Стабилизация напряжения возможна при использовании внешнего параметрического стабилизатора. Однако источник разработан совсем не для этих целей и чрезвычайно полезен во многих практических случаях.

№ 9. Универсальный удвоитель напряжения

Если вы с увлечением занимаетесь электроникой и много экспериментируете, то рано или поздно окажетесь в ситуации, когда вам необходимо создать источник питания, а нужных компонентов нет под рукой. Это часто случается при разработке какого-нибудь нового устройства, которое необходимо проверить в работе, но имеющиеся источники питания не обеспечивают нужного уровня напряжения. Аналогичное положение возникает при выходе из строя батарейных источников питания или безнадежной порче устройств питания.

В создавшейся ситуации следует тщательно задуматься и вспомнить те теоретические положения, которые мы рассматривали в начальных главах этой книги. Сделав это, вы обнаружите, что сетевые трансформаторы хорошо приспособлены для получения самых различных напряжений при использовании соответствующих схемотехнических решений.

Пусть, например, необходимо получить постоянное напряжение порядка 12 или 18 В, а действующее значение напряжения на вторичной обмотке имеющегося под рукой трансформатора равно 6,3 В. Применение любой из стандартных схем выпрямителей позволит, в лучшем случае, получить на выходе 9 В.

Использовав этот трансформатор, можно получить и гораздо больший спектр выходных напряжений. Теоретически возможно получение любого, сколь угодно высокого напряжения, хотя практические устройства подобного типа чрезвычайно громоздки и неэффективны. Речь идет о многократном умножении напряжения. Умножители, которые рассматривались в гл. 2, являются хорошим под-

спорьем в получении нужного уровня напряжения, если только исходный уровень напряжения не слишком мал. Наиболее известная форма умножителя — удвоитель напряжения — широко используется в высоковольтных источниках питания. Напомним, что удвоитель позволяет получить постоянное выходное напряжение, значение которого вдвое превышает амплитуду напряжения вторичной обмотки трансформатора. Если действующее значение напряжения вторичной обмотки равно 6,3 В, то амплитудное значение составляет примерно 9 В. Таким образом, удвоитель напряжения даст возможность получить 18 В выходного постоянного напряжения. В общем случае для получения значения выходного напряжения удвоителя, работающего при средних и малых токах нагрузки, необходимо действующее значение напряжения вторичной обмотки трансформатора увеличить в 2,8 раза. В нашем случае это составит 17,64 В. Полученное значение характерно для ненагруженного источника питания. При подключении средней нагрузки это значение уменьшится до 15 В. Таким образом, задачу, поставленную перед нами, можно считать решенной. Следует отметить, что при большой нагрузке выходное напряжение уменьшается до 12 В, а стабилизацию напряжения можно осуществить, использовав параметрические стабилизаторы.

На рис. 5.23 представлена схема источника питания с удвоителем напряжения. Компоненты имеют следующие параметры: конденсаторы *C1*, *C2* — 500 мкФ, 25 В; диоды *VD1*, *VD2* — 50 В, 2 А; предохранитель *F1* — 0,5 А. Номинальное напряжение вторичной обмотки трансформатора равно 6,3 В при токе 4 А и входном напряжении 115 В. Обратите внимание, что использовано всегда два диода и два конденсатора; последние включены последовательно. Схема представляет собой два последовательно включенных однополупериодных выпрямителя с емкостным фильтром. Один из выпрямителей работает при положительной полуволне переменного напряжения, второй —

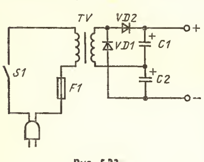


Рис. 5.23

при отрицательной. Конденсаторы *C1* и *C2* должны быть идентичными для обеспечения равномерного распределения общего напряжения между ними. Лучше всего использовать конденсаторы одного и того же завода-изготовителя.

Можно собрать удвоитель на отрезке унифицированной монтажной платы, как это показано на рис. 5.24. Обратите

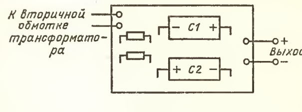


Рис. 5.24

внимание на необходимость соблюдения полярности при соединении электродов конденсаторов. Ошибка здесь может вывести источник из строя. Удостоверьтесь в правильном включении диодов и подключении одного из выводов вторичной обмотки трансформатора к точке соединения отрицательного электрода конденсатора *C1* с положительным электродом конденсатора *C2*. При использовании компонентов с вышеуказанными параметрами полуамперный предохранитель обеспечивает надежную защиту источника питания. Если устраним из схемы диод *VD1* и конденсатор *C2*, получим ранее рассмотренный источник питания на основе однополупериодного выпрямителя. Здесь же два таких выпрямителя включены последовательно и образуют удвоенный выход.

Разместите трансформатор и элементы первичной цепи в небольшом пластиковом или алюминиевом кожухе. Собранную монтажную плату можно укрепить вблизи трансформатора болтами или завернуть ее в изолирующий материал и прикрепить к корпусу одним из клеящих компаундов. В последнем случае необходимо вначале убедиться в работоспособности схемы.

Внимательно проверьте правильность монтажа и качество паяных соединений. В кожухе должны быть сделаны отверстия для установки выключателя, предохранителя и вывода шнура питания. Если вы используете алюминиевый кожух, то после сверления отверстий необходимо тщательно очистить кожух от стружки. Их наличие может вы-

звать короткое замыкание цепей; вывод источника из строя и повреждение компонентов.

Если осмотр монтажа не выявил ошибок, то убедитесь, что переключатель *S1* разомкнут, и включите вилку в сетевую розетку. Подключив вольтметр к выходным выводам источника питания, включите переключатель *S1*. Вольтметр должен показывать напряжение, несколько большее 17 В. Если это не так, то проведите обычную проверку правильности соединений, соблюдения необходимой полярности подключения элементов и т. д. В этом источнике можно произвести еще одну проверку. При включенном переключателе *S1* измерьте напряжение на электродах конденсатора *C1*. Если оно имеет значение 8—9 В, то данная ветвь умножителя работает нормально. Аналогичным образом проверяется работоспособность второй ветви умножителя. Отсутствие напряжения хотя бы на одном из конденсаторов свидетельствует о неисправности соответствующей ветви и ведет к отсутствию выходного напряжения. Причиной может быть неисправность диода или конденсатора при условии, что остальная часть схемы работает нормально.

Рассматриваемый источник может использоваться для питания цепей, не критичных к качеству питающего напряжения, так как имеет относительно большие пульсации. Обратите внимание, что здесь общая емкость конденсатора фильтра относительно выходных выводов образуется емкостями двух последовательно соединенных конденсаторов. Как мы знаем, последовательное соединение одинаковых конденсаторов приводит к пропорциональному уменьшению общей емкости, которая в нашем случае будет иметь значение 250 мкФ. Для уменьшения пульсаций выходного напряжения целесообразно было бы использовать конденсаторы *C1* и *C2* с емкостью по 1000 мкФ каждый. Второй путь повышения качества выходного напряжения состоит в использовании параметрических стабилизаторов, которые здесь будут функционировать так же хорошо, как и в любом другом источнике питания.

Можно несколько модифицировать источник питания, придав ему более универсальный вид. Для этого необходимо сделать дополнительный вывод от общей точки соединения конденсаторов *C1* и *C2*. На рис. 5.25 этот вывод обозначен *B* в отличие от основных выводов (*A* и *C*). Теперь мы можем получить выходное напряжение около 18 В (между выводами *A* и *C*) с частотой пульсаций, равной удвоенной частоте сети, и еще два напряжения, значения

которых вдвое меньше, а частота пульсаций равна частоте сети (между выводами A, B и C, B). Последние имеют противоположную полярность относительно общей точки B. Вывод A положителен относительно B, а вывод C отрицателен. Таким образом, использовав всего один трансформатор, два диода и два конденсатора, получим в итоге двухканальный источник питания с разнополярными выходами и один одноканальный источник.

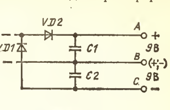


Рис. 5.25

Обратите еще раз внимание на то, что частота пульсаций напряжения в основном (удвоенном) выходе вдвое больше частоты сети, в то время как на выходах 9 В она совпадает с частотой сети. Поэтому качество выходного напряжения лучше в основном канале. При этом следует также учитывать значение тока, потребляемого от источников. Так как номинальное значение тока вторичной обмотки трансформатора равно 1 А, то один из каналов с выходным напряжением 9 В может обеспечить с некоторым запасом выходной ток 750—800 мА. Если одновременно работают оба источника, то нагрузочная способность каждого из них уменьшается до 400 мА. При использовании удвоенного выхода с напряжением 18 В нельзя будет получить выходной ток 800 мА; максимальный ток, который сможет отдать такой источник без нарушений в работе, составит 400 мА.

Не следует удивляться тому, что при номинальном токе вторичной обмотки 1 А можем получить в удвоителе напряжения выходной ток, значение которого примерно в 2 раза меньше номинального. Здесь от одной вторичной обмотки трансформатора работают два выпрямителя. Если бы мы попытались получить выходной ток 1 А, то ток вторичной обмотки трансформатора увеличился бы в 2 раза или даже еще больше, при этом номинальный ток был бы превышен, что вывело бы из строя трансформатор. В общем случае при заданном выходном напряжении максимальный выходной ток определяется номинальной мощностью трансформатора. Поэтому при увеличении выходного напряжения выходной ток падает, так как мощность не должна превышать номинального значения. Конечно, не возбраняется использовать более мощный трансформатор для увеличения

выходной мощности. Но цель нашего рассмотрения иная — показать возможность получения различных уровней выходного напряжения с применением трансформаторов, предназначенных для питания цепей накала ламповых схем. Разумеется, этот же принцип применим к трансформаторам с любым значением вторичного напряжения. На выходе удвоителя при отсутствии нагрузки напряжение примерно в 2,8 раза превышает действующее значение напряжения вторичной обмотки.

№ 10. Источник питания с утроителем напряжения

Какой-то случай заставил нас сделать только что рассмотренный источник питания около десяти лет тому назад. Если бы мы не были тогда знакомы со схемами умножения напряжения, то было бы затруднительно найти из создавшегося положения. И большинство хорошо представляют себе простую схему удвоения напряжения, которая ненамного сложнее двухполупериодного выпрямителя с выводом нулевой точки и, кажется, проще мостового выпрямителя.

Однако даже многие опытные радиолюбители, которые хорошо знают работу схемы удвоителя напряжения и свободно могут изобразить его схему по памяти, совершенно теряются, когда речь заходит об утроителях, учетверителях и, вообще, об умножителях напряжения. Правда, надо сказать, что схемы с более высоким коэффициентом умножения достаточно сложны и малоэффективны, так что они применяются довольно редко. Но утроитель напряжения может оказаться весьма полезным устройством особенно тогда, когда необходимо получить повышенное выходное напряжение, а имеющийся в наличии трансформатор не позволяет этого сделать с использованием основных схем выпрямления.

Представленный на рис. 5.26 источник питания обеспечивает выходное напряжение 50 В при действующем значении напряжения на вторичной обмотке трансформатора, равном 12,6 В. Элементы источника питания имеют следующие параметры: конденсаторы *C1—C3* — 500 мкФ, 50 В; диоды *VD1—VD3* — 100 В, 2 А; резисторы *R1*, *R2* — 2,5 кОм, 1 Вт; предохранитель *F1* — 0,5 А. Номинальные значения вторичного напряжения и ток трансформатора *TV* равны соответственно 12,6 В и 1 А при входном напряжении 115 В. Как и в схеме удвоителя, здесь осуществляется умножение

амплитудного значения входного переменного напряжения (в 3 раза). Если говорить о действующем напряжении на вторичной обмотке трансформатора, то выходное напряжение утроителя в 4,2 раза превышает это напряжение.

В схеме использованы три диода и три конденсатора. В отличие от схемы удвоителя пульсации выходного напря-

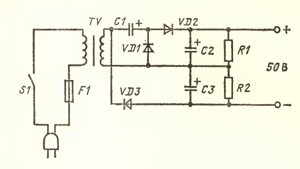


Рис. 5.26

жения имеют две частотные составляющие: частота одной равна частоте сети (60 Гц), а частота другой вдвое ее превышает (120 Гц). Поэтому для получения такого же качества выходного напряжения, как и в схемах удвоителя или учетверителя, здесь требуются конденсаторы с большими значениями емкости. Обратите внимание на наличие двух дополнительных нагрузочных резисторов *R1* и *R2*, шунтирующих конденсаторы *C2* и *C1*. Общая дополнительная нагрузка, образованная последовательным соединением резисторов, обладает сопротивлением 5000 Ом и может быть в принципе заменена одним резистором, имеющим такое же сопротивление. Но шунтирование каждого из конденсаторов предпочтительнее, так как в этом случае резисторы одновременно выполняют роль выравнивающих устройств. С этой же целью необходимо использовать идентичные конденсаторы.

Конструктивно схему утроителя можно разместить на отрезке унифицированной монтажной платы, размеры которой определяются преимущественно габаритами конденсаторов. Расположение элементов, показанное на рис. 5.27, достаточно произвольное и может быть изменено сообразно со своим вкусом. Если вы захотите использовать конденсаторы с большой емкостью, то размеры платы несколько

возрастут. Следует отметить, что рабочее напряжение всех конденсаторов может быть уменьшеио. Рабочее напряжеиие 35 В обеспечит достаточиый запас прочиости, хотя указанные в схеме компоиенты гарантируют более иадежиую работу устройства. Необходимо, чтобы рабочие напряжения

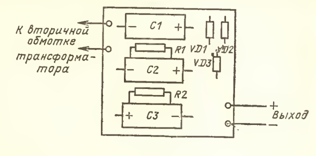


Рис. 5.27

кондеисаторов *C2* и *C3* были не ниже 35 В, но конденсатор *C1* может быть рассчитан на 16 В. Одиако в схемах умиожителей напряжения целесообразнее всего применять одинаковые коиденсаторы и преимущественио такие, которые выпускаются одним и тем же предприятием-изготовителем.

Рассматриваемый источник питания несколько сложнее всех предыдущих. При сборке существует большая вероятиость ошибки в подключении электродов какого-иибудь из кондеисаторов. Изменение полярности включения любого из диодов также недопустимо. При монтаже платы лучше затратить лишнее время на тщательную проверку расположения элемеитов и соответствия соедииеиий принципиальной схеме, так как любая ошибка может вызвать разрушения компонентов при включении источника питания в сеть. Не менее тщательно нужно проверить все паяные соединения.

Дальнейшая процедура проверки работоспособности источника питания ие составляет особого труда. Включив вилку в сеть и замкиув переключатель *S1*, измерьте выходное напряжение вольтметром постояииого тока. Если вольтметр показывает зиачение 55 В, то утроитель работает нормально. Но не следует абсолютизировать эту цифру. Вследствие колебаний сетевого иапряжения и целого ряда других факторов выходное иапряжение иестабилизироваиных источников питания, в том числе и рассматриваемого здесь,

может отличаться от расчетного значения на 20 %. Поэтому, если вольтметр дал показания 52 или 50 В, нет никаких оснований считать, что в схеме соединений допущена ошибка. Однако при выходном напряжении 10 или 20 В явно что-то не в порядке.

Для определения причины неисправности необходимо, прежде всего, убедиться, что сетевое напряжение действует на первичной обмотке трансформатора. Затем требуется вновь очень тщательно осмотреть схему утроителя. Если вы обнаружили, что один из полярных компонентов включен не так, как это следует из принципиальной схемы, то целесообразно проверить все компоненты вторичной цепи, чтобы убедиться в том, что ошибка в соединении не привела к разрушению элементов.

Не обнаружив видимых ошибок в соединениях, измерьте напряжения на конденсаторах вольтметром постоянного тока. На конденсаторах *C1*, *C3* оно должно быть равно примерно 17 В, а на конденсаторе *C2* — вдвое больше. При измерениях соблюдайте необходимую полярность подключения измерительных выводов вольтметра. Если на каком-либо из конденсаторов напряжение отсутствует, то можно быть уверенным, что причина этого кроется либо в неисправном компоненте, либо в коротком замыкании, либо в обрыве соединения данной ветви.

Готовый к работе источник питания обеспечивает 50 В выходного напряжения, которые получены от трансформатора цепей накала с выходным напряжением 12,6 В. Как указывалось, номинальный ток вторичной обмотки трансформатора равен 1 А. Уменьшив это значение на 20 % и разделив результат на три, получим значение выходного тока источника питания, который он может безопасно отдать при длительной работе. В случае кратковременной работы можно не учитывать указанный 20 %-ный запас, но необходимо следить за тем, чтобы трансформатор не был перегрет. Учтите, что при выходном токе 300 мА действующее значение тока вторичной обмотки трансформатора будет равно номинальному.

№ 11. Источник питания с переключателем входного напряжения

Один из источников питания, собранный еще в подростковом возрасте, нам особенно дорог. Хотя он встречается не так часто, но очень удобен в ряде практических случаев.

Основное его отличие состоит в компоновке первичной цепи, которую можно с одинаковым успехом применить в любом другом источнике питания. В приведенной на рис. 5.28 схеме не конкретизированы параметры элементов вторичной

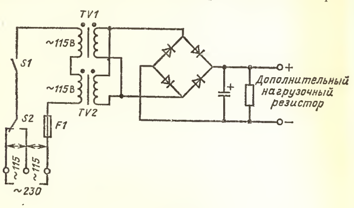


Рис. 5.28

цепи, поскольку не в этом суть дела. Основная цель здесь состоит в том, чтобы источник питания, работающий от сети с напряжением 230 В и обеспечивающий определенный уровень выходного напряжения, мог бы работать и от сети 115 В с уменьшенным вдвое выходным напряжением.

Для этого используются два одинаковых сетевых трансформатора, рассчитанных на работу с сетью 115 В. Первичные обмотки трансформаторов включены последовательно, а вторичные — параллельно. Поэтому при подключении к сети 230 В напряжение на каждой из первичных обмоток будет равно 115 В, а суммарный выходной ток вдвое возрастает по отношению к номинальному току каждой вторичной обмотки.

Рекомендуется выбирать для этой схемы идентичные трансформаторы. Обратите особое внимание на соединения выводов обмоток. У первичных обмоток объединены разноименные выводы: конец первичной обмотки трансформатора *TV1* связан с началом первичной обмотки трансформатора *TV2*, которое обозначено точкой. Вторичные обмотки соединены между собой одноименными выводами. Если изменить полярность включения одной из обмоток — первичной или вторичной, то это неизбежно приведет к отказу в ра-

боте: в лучшем случае перегорит предохранитель *F1*, в худшем сгорят трансформаторы.

К вторичным обмоткам трансформатора можно подключить схему любого выпрямителя. Здесь показан двухполупериодный мостовой выпрямитель, но с таким же успехом можно использовать однополупериодный выпрямитель и любые схемы умножителей напряжения. Можно снабдить выпрямитель стабилизатором напряжения, но следует помнить, что при переключении на сеть 115 В напряжение на выходе выпрямителя уменьшается в 2 раза и стабилизатор может не работать.

Первичное напряжение источника питания обеспечивается трехпроводной сетью 230 В, которая в вашем доме подводится для питания электрической плиты, сушилки и других мощных бытовых электроприборов. Как показано на рис. 5.28, сеть имеет три провода: два линейных и один нейтральный. Между линейными проводами действует напряжение 230 В, а между нейтралью и каждым из линейных проводов — 115 В. Двухпозиционный переключатель *S2* обеспечивает подключение первичной цепи либо к линейному проводу, либо к нейтрали. Если переключатель замкнут с линейным проводом, то к последовательно соединенным первичным обмоткам трансформатора прикладывается напряжение 230 В. Соединение переключателя с нейтралью приводит к уменьшению первичного напряжения до 115 В. Это означает, что если бы напряжение на вторичной обмотке было равно 100 В при питании от сети 230 В, то после переключения на сеть 115 В оно уменьшилось бы до 50 В.

Хотя мы рассматриваем здесь параллельное включение вторичных обмоток, но ничто не мешает соединить их последовательно таким же образом, как и первичные обмотки. В этом случае выходное напряжение будет вдвое больше, чем напряжение на одной обмотке. Если использовать цифры приведенного выше примера, то при питании от сети 230 В выходное напряжение будет равно 200 В, а при питании от 115 В оно уменьшится до 100 В.

Для различных экспериментальных целей неплохо иметь такой источник питания, который может работать с различной первичной сетью и обеспечивать различные уровни выходных напряжений. Хотя в нашей схеме используются два трансформатора, рассчитанных на 115 В входного напряжения, можно с таким же успехом применить трансформатор, у которого первичное напряжение равно 230 В. Послед-

ние, особенно малой мощности, имеют небольшое распространение в радиолюбительских устройствах.

Обратимся теперь к выбору параметров некоторых компонентов, в частности переключателей. Ток, потребляемый от сети переменного тока, определяется мощностью, которую должен обеспечить источник постоянного напряжения, а эта мощность, в свою очередь, ограничена мощностью используемого трансформатора. Воспользуемся формулой $P=UI$, позволяющей рассчитать мощность, отдаваемую источником питания. Если, например, при напряжении 1000 В ток, потребляемый нагрузкой, равен 500 мА, то мощность, отдаваемая источником питания в нагрузку, составит 500 Вт ($1000\times0,5$). Поскольку во всяком устройстве, в том числе и в источнике питания, существуют потери энергии, то мощность, потребляемая от сети переменного тока, будет превышать мощность, отдаваемую в нагрузку. Пусть это превышение составляет 10 % мощности нагрузки. Тогда сеть переменного тока должна будет обеспечить мощность 550 Вт и при напряжении 230 В ток в первичной цепи будет иметь значение около 2,5 А. Следовательно, переключатели *S1* и *S2* должны быть рассчитаны, по крайней мере, на ток 3 А, а еще лучше 5 А, чтобы обеспечить достаточный запас прочности, а плавкий предохранитель *F1* — на ток 5—6 А. Следует обязательно удостовериться, что компоненты первичной цепи позволят передать требуемый уровень мощности.

Все наши расчеты относились пока к сети 230 В. Если входное напряжение уменьшается до 115 В, то уменьшается не только выходное напряжение источника питания, но и мощность, передаваемая трансформатором. Пусть рассчитанные нами 550 Вт представляют собой номинальную мощность трансформатора при входном напряжении 230 В. Тогда максимальная мощность, которую сможет передать трансформатор при напряжении 115 В, составит в лучшем случае 275 Вт. Дело в том, что номинальное значение тока первичных обмоток и в том и в другом случае остается одним и тем же. И если при напряжении 230 В ток 2,5 А обеспечивает передачу мощности 550 Вт, то при уменьшении напряжения до 115 В передаваемая мощность соответственно уменьшится ($115\times2,5=275$). Иными словами, можно вдвое уменьшить напряжение, но при этом нельзя увеличить ток в 2 раза.

Воспользовавшись предложенной схемой, вы сможете сделать простой источник питания, выходное напряжение

которого изменяется в 2 раза простым щелчком переключателя. Уровни напряжений, которые здесь можно получить, столь же разнообразны, как и трансформаторы, использующиеся в источнике питания. Если вы захотите вернуться к работе только с сетью переменного напряжения 115 В, то достаточно будет просто соединить параллельно первичные обмотки трансформаторов, при этом мощность, которую сможет передать подобное параллельное соединение, возрастает вдвое по отношению к номинальной мощности одного трансформатора.

№ 12. Многоуровневый параметрический стабилизатор

В магазинах радиотоваров можно приобрести источник постоянного напряжения с нестабилизированным выходом. Как мы уже знаем, такие источники можно использовать для обеспечения электропитанием различных электромеханических устройств и не критичных к качеству питающего напряжения относительно простых электронных схем. Однако большинство электронных схем требуют для своей работы стабилизации напряжения питания.

Рассмотренный в начале этой главы источник питания с параметрическим стабилизатором напряжения обеспечивал один уровень выходного напряжения. Но в целом ряде практических случаев необходим такой источник питания, который позволил бы получить различные уровни выходного стабилизированного напряжения, необходимые для проверки работоспособности той или иной электронной схемы.

На рис. 5.29 показана простая схема, которая обеспечивает выполнение указанных выше функций, когда она подключена к источнику нестабилизированного постоянного напряжения. Значение входного напряжения определяется напряжением пробоя того стабилитрона, который связан

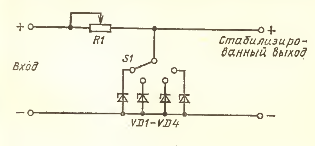


Рис. 5.29

с подвижным контактом четырехпозиционного переключателя *S1*. Типы стабилитронов и значение входного напряжения здесь не указаны и могут выбираться в зависимости от конкретных требований.

Схема представляет собой обычный параметрический стабилизатор. Введение четырехпозиционного переключателя позволяет выбрать тот из четырех стабилитронов, который имеет необходимое напряжение стабилизации. Сопротивление балластного резистора *R1* можно регулировать. В принципе этот резистор можно заменить четырьмя постоянными сопротивлениями, которые также будут выбираться переключателем. Лучше всего, чтобы переменный резистор имел линейную регулировочную характеристику. Здесь сопротивление его можно изменять от 0 до 500 Ом, а номинальная мощность резистора равна 1 Вт. Максимальная рассеиваемая мощность стабилитронов — 0,5 Вт.

В каких-то конкретных случаях может понадобиться резистор с сопротивлением 1000 Ом или выше. Если использовать резистор с большой номинальной мощностью, скажем 5 или 10 Вт, то это позволит безопасно работать при более высоком входном напряжении и малом выходном. Следует помнить, что чем выше входное напряжение и ниже напряжение пробоя стабилитрона, тем больший ток протекает по балластному резистору и, следовательно, большая мощность в нем выделяется.

Вся схема очень просто размещается на небольшой монтажной плате, которую затем можно поместить в соответствующий корпус. Ничто не мешает сделать по-другому, запаяв полупроводниковые стабилитроны непосредственно на контактах переключателя, предварительно укоротив выводы электродов стабилитронов. Если имеется переключатель с большим числом позиций, то можно соответственно увеличить количество стабилитронов с разным напряжением пробоя, придав таким образом источнику более универсальный характер. В корпусе устройства необходимо высверлить два отверстия для закрепления переменного резистора и переключателя. Входные и выходные выводы можно сделать любым известным способом.

Как видим, схема очень проста. Следите только за тем, чтобы соблюдались необходимые полярности включения стабилитронов и соединения входных и выходных выводов. Сборку устройства можно завершить в течение часа, хотя это, конечно, зависит от приобретенных вами практических навыков. Будучи новичком в этом деле, не торопитесь. Лиш-

ние 15—20 мин, затраченные на тщательный монтаж и его проверку, могут сэкономить часы, необходимые для отыскания повреждений в неисправной схеме. К тому же спешка в сборке может привести к выходу компонентов из строя при первом же включении источника питания.

Прежде чем приступить к объяснению правил проверки работоспособности рассмотренной схемы, следует сказать, что во многом работа схемы зависит от уровня входного напряжения. В качестве незыблемого правила следует считать, что значения входного напряжения должны быть на 2—3 В больше выходного при низких уровнях последнего (3—9 В) и на 5—6 В больше при значениях входного напряжения выше 12 В. Соблюдение этого правила гарантирует, что мощность, выделяющаяся в резисторе *R1*, не превышает максимально допустимого значения. Если, например, выходное напряжение равно 3 В, то входное не должно быть больше 6 В. Если бы входное напряжение здесь было равно, скажем, 25 В, то резистор неминуемо вышел бы из строя.

Настройка и проверка схемы осуществляются следующим образом. Подключите стабилизатор к нестабилизированному источнику напряжения и установите переключатель *S1* в требуемое для данного случая положение. Напряжение, измеряемое на выходе вольтметром постоянного тока, должно быть равно напряжению пробоя выбранного стабилитрона. Возможно, потребуется скорректировать положение движка переменного резистора *R1*. Для этого увеличивайте сопротивление *R1* до тех пор, пока выходное напряжение не начнет уменьшаться, становясь меньше напряжения пробоя стабилитрона. После этого прекратите увеличение сопротивления и начинайте его понемногу уменьшать, следя за показанием вольтметра. Когда вольтметр вновь покажет напряжение пробоя стабилитрона, уменьшите сопротивление *R1* еще немного и оставьте в таком положении, которое будет рабочим для данного уровня выходного напряжения. Если изменяется нагрузка на выходе стабилизатора, то может понадобиться последующая подстройка.

Выходной ток и, следовательно, мощность стабилизатора определяются в конце концов номинальной мощностью стабилитронов и резистора и, конечно же, мощностью входного источника. Здесь максимальный выходной ток не должен превышать 50 мА, а особенно тогда, когда резистор *R1* имеет большое сопротивление. При среднем сопротивлении резистора этот ток может быть чуть больше. Если исполь-

зуется резистор с номинальной мощностью 5 или 10 Вт, то можно получить выходной ток больше 100 мА.

Использовав различные стабилитроны, вы сможете приспособить стабилизатор к различным непредвиденным случаям, возникающим в работе. Для придания источнику большей универсальности можно, исключив переключатель *S1*, вывести вывод от резистора *R1* непосредственно к выходной клемме, имеющей завинчивающуюся на внешней стороне специальную металлическую гайку, впрессованную в изоляционный корпус. Если выходы источника сделаны таким образом, то все, что необходимо будет сделать для получения требуемого выходного напряжения, — это, изогнув выводы стабилитрона, закрепить его на выходных клеммах. Подключенный таким образом стабилитрон становится неотъемлемой частью стабилизатора, и в результате образуется источник, в котором можно получить различные выходные напряжения без использования относительно громоздкого многопозиционного переключателя.

Целесообразно также снабдить переменный резистор круглой шкалой, закрепленной на корпусе, а ручку движка резистора оснастить соответствующим указателем. Это позволит проградуировать шкалу в значениях сопротивления резистора или в значениях выходного напряжения и при заданном уровне выходного напряжения устанавливать требуемое сопротивление. При этом отпадает необходимость использования вольтметра и подстройки стабилизатора при смене стабилитронов.

Рассмотренное устройство на вашем рабочем месте позволит получать стабилизированные напряжения различного уровня, использовав простой нестабилизированный источник питания. Здесь может быть применен даже однополупериодный выпрямитель. К тому же такое устройство недорого и просто в обращении.

№ 13. Источник питания приемопередатчика

В 60—70-е годы каждый уважающий себя радиолюбитель был владельцем приемопередатчика — довольно сложного устройства, совмещающего в себе функции и приемника, и передатчика радиосигналов. В основном подобные устройства выполнены на полупроводниковых компонентах, но включают в себя и ламповые приемные устройства, и телевизионные трубки, устанавливаемые на выходе усилителей передатчиков.

Большое разнообразие компонентов обусловливает не-

обходимость применения питающих напряжений различного уровня для обеспечения работоспособности приемопередатчиков. Во-первых, необходимо иметь постоянное или переменное напряжение 12 В для питания цепей накала ламп и телевизионных трубок. Во-вторых, требуется стабильное постоянное напряжение низкого уровня для питания полупроводниковой части устройства. Далее анодные цепи электронных ламп работают при постоянных напряжениях 300—400 В, а напряжение 100—150 В необходимо для сеточных цепей ламповых схем. Наконец, для обеспечения работоспособности используемых телевизионных трубок необходимо постоянное напряжение 800 В.

Может быть, это и покажется несколько странным, но такой сложный источник питания можно выполнить с одним трансформатором, и он не будет очень дорогим, если использовать бывшие в употреблении компоненты. На рис. 5.30 приведена схема основной нестабилизированной части

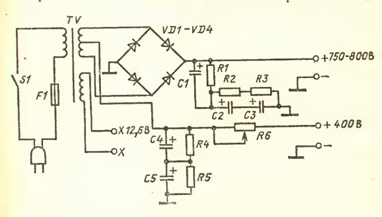


Рис. 5.30

такого источника питания. Обратите внимание, что используется всего один трансформатор *TV*. Компоненты схемы имеют следующие основные параметры: электролитические конденсаторы *C1—C5* — 240 мкФ, 450 В; диоды *VD1—VD4* — 1000 В, 1 А; резисторы *R1—R5* — 50 кОм, 5 Вт; переменный резистор *R6* — 3 кОм, 20 Вт; предохранитель *F1* — 6 А; переключатель *S1* — 10 А. Телевизионный трансформатор *TV* широко применялся в черно-белых телевизорах в 50—60-х годах, и в настоящее время его можно найти

только в старых телевизионных приемниках. Так как сейчас черно-белых телевизоров выпускается значительно меньше, то проще всего трансформатор можно отыскать в местной радиомастерской. Одна из вторичных обмоток трансформатора, как правило, имеет вывод средней точки и общее вторичное напряжение 700—750 В, т. е. на каждой полуобмотке действующее значение переменного напряжения равно 350—375 В. Обычно в трансформаторе есть одна или две обмотки для питания цепей накала электронных ламп. Напряжения накальных обмоток могут быть разными у различных типов трансформаторов. Одни из них имеют две обмотки с выходным напряжением 12,6 и 6,3 В; в других может быть две обмотки с одинаковым напряжением 6,3 В. В некоторых типах трансформаторов одна накальная обмотка рассчитана на 5 В выходного напряжения, а вторая — на 6,3 или 12,6 В, а в других типах есть две обмотки с напряжением 12,6 В. Все это не очень важно, так как почти всегда есть возможность получить переменное напряжение, близкое к уровню 12,6 В. Даже тогда, когда есть обмотки с напряжениями 6,3 и 5 В, последовательное их соединение обеспечивает 11,3 В, что очень близко к 12,6 В.

В первичной цепи включен однополюсный переключатель, способный коммутировать ток 10 А. Выходная мощность телевизионных трансформаторов при длительной работе составляет 150—200 Вт. В прерывистом режиме, характерном для рассматриваемого случая, он может вполне безопасно передать мощность 500 Вт, при этом ток, потребляемый от сети 115 В, составит 5 А.

Для получения требуемых уровней выходного напряжения использована схема двухканального выпрямителя, которую мы с вами уже рассматривали. Диодный мост обеспечивает выпрямление полного напряжения вторичной обмотки трансформатора, а вывод средней точки вторичной обмотки используется для получения вдвое меньшего уровня напряжения и той же полярности. Применение емкостного фильтра на выходе мостового выпрямителя дает под нагрузкой 750—800 В выходного напряжения. Это значение возрастает до 1000 В при холостом ходе. Выходное напряжение второго канала в 2 раза меньше, и при нагрузке его можно снизить до 250 В с помощью резистора *R6* с переменным сопротивлением.

Фильтр высоковольтного канала состоит из трех последовательно соединенных электролитических конденсаторов с емкостью 240 мкФ и рабочим напряжением 450 В каж-

дый. Казалось бы, нецелесообразно использовать здесь последовательное включение трех конденсаторов, так как два таких конденсатора, соединенных последовательно, образуют эквивалентный конденсатор с рабочим напряжением 900 В и емкостью 120 мкФ. Но не следует забывать, что при холостом ходе напряжение возрастает до 1000 В и для обеспечения безопасной работы с некоторым запасом необходимо установить три конденсатора, при этом эквивалентная емкость будет иметь значение 80 мкФ. Еще два таких же конденсатора образуют фильтр второго канала источника питания.

Обратите внимание на то, что каждый из конденсаторов шунтирован резистором с сопротивлением 50 кОм и номинальной мощностью 5 Вт. Они выполняют двоякие функции. Во-первых, резисторы гарантируют разряд конденсаторов после отключения нагрузки и сети. Это обеспечивает безопасность работы. Во-вторых, резисторы обеспечивают равномерное распределение общего напряжения между конденсаторами. Это значит, что в процессе работы напряжение на каждом из них не может превысить номинального значения. Никакие обстоятельства не могут оправдать отсутствия этих резисторов в схеме.

В качестве источника цепей накала используется напряжение соответствующей обмотки трансформатора. Поскольку многие радиопередатчики не требуют для этих целей постоянного напряжения, то здесь нет никакой необходимости в выпрямлении и фильтрации.

Как уже говорилось, в приемопередатчике необходим еше один источник для питания цепей смещения электронных ламп. Он должен иметь отрицательную полярность относительно земли и обеспечивать возможность изменять выходное напряжение в широких пределах. Рисунок 5.31 демонстрирует возможность получения нужного напряжения путем использования отдельного накального трансформато-

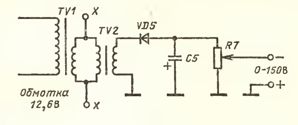


Рис. 5.31

ра *TV2*, подключаемого к обмотке основного трансформатора *TV1*, имеющей переменное выходное напряжение 12,6 В. В этой схеме компоненты имеют такие параметры: электролитический конденсатор *C5* — 100 мкФ, 200 В; диод *VD5* — 1000 В, 1 А; резистор *R7* — 100 кОм, 5 Вт. Накальный трансформатор *TV2* рассчитан на работу с сетью 115 В, а его вторичная обмотка имеет выходное напряжение 12,6 В при номинальном токе 1 А. Обмотка телевизионного трансформатора выполняет роль первичного источника энергии, а напряжение на ней равно 12,6 В. К этой обмотке параллельно подключается вторичная обмотка накального трансформатора *TV2*, выполняющая роль входной обмотки, при этом на первичной обмотке трансформатора *TV2*, выполняющей функцию выходной обмотки, наводится напряжение 115 В. Если бы на основном трансформаторе не было обмотки с напряжением 12,6 В, то вполне можно было бы использовать две последовательно включенные обмотки с напряжениями 5 и 6,3 В.

Выходное напряжение трансформатора *TV2* выпрямляется однополупериодным выпрямителем, на выходе которого включен емкостный фильтр *C5*. Переменный резистор *R7* позволяет регулировать выходное напряжение и производить при необходимости его корректировку.

Усилитель приемопередатчика, предназначенного для любительской радиосвязи, не является единственным устройством, в котором применим рассмотренный источник питания. Его можно успешно использовать и в других ламповых схемах, включающих усилители высокой частоты, радиоприемные устройства, усилители низкой частоты и т. п. Наиболее дорогими элементами в этом источнике являются конденсаторы, если предположить, что вы использовали трансформатор от старого черно-белого телевизора. Трансформаторы некоторых цветных телевизоров тоже можно применять для создания подобного источника. В качестве трансформатора *TV2* можно использовать самый маломощный из существующих накальных трансформаторов, так как потребление управляющих сеточных цепей очень мало.

Конденсаторы можно выбрать из запасов неликвидов. Значение емкости конденсаторов не очень критично: не следует только использовать емкости менее 100 мкФ. Учтите, что общая эквивалентная емкость обратно пропорциональна количеству соединенных конденсаторов.

Сборка источника питания не очень сложна. Начинается она с установки трансформатора на прочном шасси и

компоновки элементов первичной цепи. Выпрямитель, выполненный на дискретных элементах, можно смонтировать на отрезке унифицированной монтажной платы. Если используется интегральный выпрямитель, то его корпус можно закрепить на корпусе трансформатора. Удостоверьтесь в том, что каждый из электролитических конденсаторов хорошо изолирован. Должен быть исключен контакт между корпусами конденсаторов, так же как и контакт конденсаторов с шасси источника питания. Эти замечания особенно относятся к двум верхним конденсаторам высоковольтного канала, а также к конденсатору *C4* второго канала. Помните, что потенциал обкладок этих конденсаторов относительно земли превышает уровень рабочего напряжения конденсаторов. Существуют малогабаритные конденсаторы с высокими рабочими напряжениями, используемые в компьютерных системах, в частности в устройствах питания индикаторов дисплеев. Если вы используете такие конденсаторы, то их целесообразно разместить на отрезке монтажной платы, изолированной от шасси источника питания. Укрепить эти конденсаторы на монтажной плате можно эпоксидным клеем, а монтажную плату, в свою очередь, можно таким же образом закрепить на шасси. Аналогично конденсаторам следует расположить шунтирующие их резисторы. Просверлив отверстия нужного диаметра в крышке шасси, необходимо закрепить на ней переменные сопротивления *R6* и *R7*, а также однополюсный переключатель *S1*. Целесообразно также использовать сигнальную лампу, фиксирующую подключение сетевого напряжения к первичной обмотке трансформатора.

Принципиально рассматриваемый источник напряжения мало чем отличается от тех, с которыми мы познакомились ранее. Но следует учитывать, что он вырабатывает повышенные уровни выходных напряжений. Поэтому любая ошибка в монтаже или случайное короткое замыкание могут привести здесь к более тяжелым последствиям. Источник не содержит цепей электронной стабилизации выходных напряжений, которые значительно сложнее при высоких уровнях напряжений. Для рассмотренного применения источника стабилизации они не являются необходимыми.

Прежде чем включить источник питания в сеть, тщательно проверьте все соединения в схеме, предприняв максимум усилий для обнаружения возможных коротких замыканий, обрывов, неправильных подключений полярных компонентов и т. п. Убедившись, что все в порядке, подключите к вы-

соковольтному выходу вольтметр с максимальным показанием шкалы 1000 В или выше. Если плавкий предохранитель потускнел или взорвался, то это — верный признак короткого замыкания или ошибки в соединениях. Но есть шансы, что этот простой источник заработает нормально с первого включения. Выходное напряжение может отличаться от значения 1000 В в ту или другую сторону примерно на 100 В, что определяется возможными колебаниями сетевого напряжения, а также точным значением напряжения на вторичной обмотке трансформатора. Затем осторожно переключите выводы вольтметра на второй канал, напряжение на котором должно быть меньше в 2 раза. Наличие резистора *R6* в этой проверке никак не сказывается на показаниях вольтметра, поскольку отсутствует нагрузка. После этого проверьте источник сеточного смещения: здесь резистор *R7* должен регулировать выходное напряжение в широких пределах.

Если напряжение на высоковольтном выходе существенно отличается от нормы, то, вероятнее всего, то же будет наблюдаться на втором выходе. Очень трудно вообразить себе какие-либо другие причины неисправностей, кроме как несоблюдение правильной полярности включения диодов и конденсаторов. Эта ошибка, конечно, приведет к неисправности и повреждению других диодов и конденсаторов.

Следует предупредить читателей об опасности работы с неисправным источником. Если даже вольтметр не показал наличие высокого напряжения на выходе при первом включении, лучше предположить, что конденсаторы заряжены. Прежде чем что-либо делать внутри источника, следует разрядить конденсаторы, соединив накоротко электроды каждого из них жалом отвертки, держа последнюю за изолирующую ручку. Есть шансы, что разряда не будет, но наличие электрической дуги при этой процедуре свидетельствует, что конденсатор был заряжен. Старайтесь придерживаться этого правила всякий раз, когда работаете с источником питания подобного типа. Есть много примеров получения серьезных увечий людьми, пренебрегавшими этим простым правилом.

После проверки работоспособности источника питания подключите его к вашему приемопередающему устройству и, изменяя сопротивления *R6* и *R7*, установите нужные значения напряжений, измеряя их вольтметром постоянного тока. Впоследствии вы, возможно, убедитесь в том, что созданный источник питания ничуть не хуже стандартных.

№ 14. Источник питания вместо гальванического элемента

Существует множество электронных игр и калькуляторов, где в качестве источника питания используются сухие гальванические элементы, а также восстанавливаемые гальванические элементы. Применяя дискретные компоненты, нелегко создать источник питания, выходное напряжение которого было бы эквивалентно напряжению одного гальванического элемента. Однако использование интегральных стабилизаторов напряжения позволяет решить эту задачу, и она становится не более сложной, чем создание простого нестабилизированного источника питания.

В источнике питания, представленном на рис. 5.32, значение выходного напряжения равно 1,25 В. Компоненты

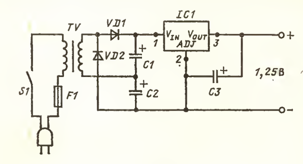


Рис. 5.32

имеют следующие параметры: конденсаторы *C1*, *C2* — 2500 мкФ, 25 В; конденсатор *C3* — 1 мкФ; диоды *VD1*, *VD2* — 50 В, 2 А; предохранитель *F1* — 0,5 А; интегральный стабилизатор *IC1* — LM 117. Трансформатор *TV* при входном напряжении 115 В имеет выходное напряжение 12,6 В при номинальном токе 2 А. Напряжение 1,25 В почти равно напряжению большинства восстанавливаемых гальванических элементов. Большинство сухих элементов имеют выходное напряжение 1,5 В, но авторам еще не приходилось встречать устройства, которое не работало бы нормально при напряжениях на четверть вольта меньше, чем указанное значение.

Основой источника является трехвыводной интегральный стабилизатор (ИС), который рассчитан на максимальный ток 1,5 А при выходных напряжениях от 2 до 37 В. Для

получения максимального тока корпус *IC1*, который мало чем отличается от стандартного транзисторного корпуса, должен быть установлен на радиатор. Если требуется выходной ток порядка сотен миллиампер, как в нашем случае, то нужда в радиаторе отпадает. Следует отметить, что увеличение выходных токов до максимальных значений требует одновременно увеличения номинальной мощности трансформатора с тем, чтобы ток вторичной обмотки был равен 4 А, при этом необходимо было бы использовать диоды с номинальным током 5 А.

Нестабилизированная часть источника выполнена по схеме удвоителя, обеспечивающего выходное напряжение 30 В, служащего для интегрального стабилизатора *IC1* входным напряжением. Показанное на рисунке подключение выводов *IC1* не является единственно возможным. Существуют схемы, где последовательность подключения выводов *1* и *2* изменена на противоположную, т. е. вывод *2* является входным, а вывод *1* — землей. Чаще всего на корпусах трехвыводных стабилизаторов приводятся обозначения выводов подобно тому, как это показно на рис. 5.32. Стабилизатор преобразует нестабилизированное входное напряжение в стабилизированное выходное, имеющее значение 1,25 В. Конденсатор *C3* улучшает переходные характеристики источника питания и в принципе не является необходимым компонентом. Выходное напряжение можно было бы увеличить, использовав определенное включение двух внешних по отношению к *IC1* резисторов. Мы еще познакомимся с такой возможностью, но в данном случае это делать нецелесообразно. Этот источник применим для питания любых устройств, способных работать с восстанавливаемыми гальваническими элементами, имеющими почти такое же выходное напряжение. Разумеется, с его помощью можно осуществлять восстановление, или заряд, таких элементов.

Источник питания можно собрать в небольшом алюминиевом кожухе, начав работу с установки сетевого трансформатора и элементов первичной цепи. По-видимому, наиболее целесообразно диоды и конденсаторы умножителя расположить на отдельной монтажной плате. Но конденсаторы здесь являются наиболее громоздкими элементами вследствие того, что имеют большую емкость, и, возможно, вы предпочтете установить их в корпусе или на стенке шасси, обеспечив соответствующую изоляцию корпусов конденсаторов. При необходимости в качестве радиатора для *IC1*

можно использовать корпус источника. Следует оговориться, что в большинстве случаев выходной вывод имеет непосредственный контакт с корпусом стабилизатора. Поэтому закреплять корпус *IC1* на шасси следует через изолирующую прокладку, чтобы избежать короткого замыкания. Это не вызовет трудностей, поскольку большинство ИС поставляется изготовителями вместе с необходимыми крепежными изделиями, включающими в себя и изоляционные прокладки. Для обеспечения хорошего теплового контакта между корпусами ИС и источника питания, необходимо заполнить поверхности соединяемых деталей специальной теплопроводящей пастой. Сборка источника завершается установкой выходных гнезд и клемм.

Тщательно осмотрите собранную схему. Убедитесь, что конденсаторы *C1* и *C2* соединены правильно. Удостоверьтесь в правильной полярности включения диодов *VD1* и *VD2*, а также в том, что выводы стабилизатора соединены с нужными точками схемы. Ошибка в подключении ИС способна полностью вывести его из строя.

Соедините измерительные выводы вольтметра с выходными гнездами источника питания. Необходимо, чтобы максимальное показание шкалы вольтметра соответствовало измеряемому напряжению, т. е. находилось в пределах 1,5—2 В. При включении источника питания вольтметр должен показывать напряжение 1,25 В или иметь близкое к этому значению показание с учетом технологического разброса параметров ИС.

Схема источника настолько проста, что, по-видимому, сразу будет функционировать нормально. Если какие-то проблемы все-таки возникнут, то отключите временно входной вывод ИС, обозначенный V_{IN}, и произведите измерение напряжения на выходе удвоителя. Напряжение, значенне которого заметно меньше 30 В, скажем 20 В или еще меньше, свидетельствует об ошибке соединений или неисправных компонентах схемы удвоителя. Следует также проверить напряжение на вторичной обмотке трансформатора: его действующее значение, измеренное вольтметром переменного тока, должно быть равно 12,6 В. Если же удвоитель работает нормально, то, следовательно, неисправен интегральный стабилизатор и его следует заменить.

Как уже говорилось, использование ИС без радиатора позволяет получить выходной ток порядка сотен миллиампер; с радиатором это значение увеличивается до 1,5 А. Напомним, что увеличение выходного тока до максималь-

ного значения требует применения трансформатора и выпрямителей большей мощности. При работе на максимальном токе следует проконтролировать температуру корпуса ИС. Если она слишком велика, то следует увеличить размер радиатора. Рекомендуемые поверхности охлаждающих радиаторов для ИС приводятся в соответствующих справочных данных.

Рассмотренный источник питания используется для питания устройств, работающих от гальванических элементов. Применение его в домашних условиях позволяет полностью отказаться от использования таких элементов. Хорошо пригоден источник и для заряда восстанавливаемых гальванических элементов. Для этого достаточно полюсы разряженного элемента соединить с одноименными выводами источника питания. Если источник питания рассчитан на максимальный выходной ток, то он способен производить одновременно восстановление шести подобных гальванических элементов. В том случае, когда он часто используется для этих целей, целесообразно снабдить его амперметром, включенным последовательно с положительным выводом. Тогда снижение выходного тока до минимальных значений будет свидетельствовать о завершении заряда гальванических элементов.

№ 15. Источник питания на 5 В, 1 А с интегральным стабилизатором

Многие типы интегральных схем требуют для своей работы хорошо стабилизированного напряжения питания 5 В. Стабилизаторы, выполненные для этих целей на дискретных компонентах, чрезвычайно сложны и обладают малой надежностью. В настоящее время, однако, они полностью вытеснены интегральными стабилизаторами напряжения.

На рис. 5.33 показан источник питания с интегральным стабилизатором, предназначенный для указанной цели. Он содержит следующие элементы: электролитические конденсаторы *C1*, *C2* — 2000 мкФ, 25 В; электролитический конденсатор *C3* — 150 мкФ, 15 В; керамический конденсатор *C4* — 0,01 мкФ; диоды *VD1*, *VD2* — 50 В, 3 А; плавкий предохранитель *F1* — 0,5 А; интегральный стабилизатор *IC1* — LM309K. Полное выходное напряжение вторичной обмотки трансформатора *TV* равно 12,6 В при номинальном токе 2 А.

Трехвыводной интегральный стабилизатор LM309K

включен между выпрямителем н выходом нсточннка, а его общий вывод соединен с корпусом (заземлен). Для уменьшення пульсацнй напряжения на выходе двухполупернодного выпрямителя с выводом нулевой точки включены параллельно два конденсатора фнльтра. Общая емкость па-

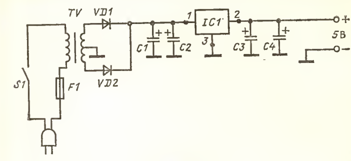


Рис. 5.33

раллельного соедннення составляет 4000 мкФ. Еслн вы сочтете это целесообразным, то установнте однн конденсатор с таким же значением емкостн. Пульсацнн напряжения уменьшатся, еслн вы нспользуете конденсатор с еще большей емкостью, хотя указанное значение более чем достаточно.

Входной вывод *1* ннтегрального стабнлнзатора соединен непосредственно с выходом выпрямнтеля. В выходной цепн установлен электролнтическнй конденсатор *C3*, шунтнрованный керамнческим днсковым конденсатором *C4* с емкостью 0,01 мкФ. Этн элементы не являются обязательнымн, но улучшают днинамическне характернстнкн нсточннка питання при скачкообразных нзмененнях тока нагрузки.

Конструктнвно нсточннк выполняется так же, как н любой другой. По-видимому, конденсаторы фильтра целесообразнее всего смонтнровать на отдельной плате, на которой можно разместнть н дноды выпрямнтеля, н выходные конденсаторы. Интегральный стабилнзатор следует установнть на раднаторе, в качестве которого можно нспользовать корпус нсточннка питания. Стабилнзатор следует расположнть вблнзн конденсаторов фнльтра *C1* н *C2*. В таком виде нсточннк способен отдавать в нагрузку около 750 мА тока прн выходном напряженни 5 В. Но еслн нагрузка требует всего около 100 мА, то стабилизатор можно не устанавлнвать на раднатор, а всю схему разместить на одной мон-

тажной плате, при этом можно вдвое уменьшить номинальную мощность трансформатора.

Рассматриваемый источник питания имеет высокие качественные показатели, хотя он очень прост со схемотехнической и конструктивной точек зрения. Все изменения по сравнению с нестабилизированным источником питания состоят в подключении трех выводов интегрального стабилизатора напряжения.

Здесь не требуется производить какую-либо подстройку для обеспечения требуемого режима работы. Закончив монтаж, тщательно проверьте схему соединений, чтобы исключить возможность ошибки. Подключив к выходу вольтметр постоянного тока, включите источник в сеть. При нормально работающем источнике вольтметр должен показать 5 В. Если это не так, то временно отсоедините первый (входной) вывод стабилизатора от фильтра и измерьте выходное напряжение выпрямителя, установив шкалу вольтметра на максимальное показание 15 В. Напряжение на выходе выпрямителя должно иметь значение около 10 В. Если и здесь нет напряжения, то необходимо измерить сначала полное переменное напряжение на вторичной обмотке, а затем на каждой из полуобмоток. Они должны быть равны соответственно 12,6 и 6,3 В. При нормально работающем трансформаторе причина неисправности кроется в выпрямительных диодах или конденсаторах фильтра.

Если выпрямитель и фильтр обеспечивают нужное напряжение (около 10 В), следует подключить ИС и отсоединить выходные конденсаторы *C3* и *C4*. Появление напряжения на выходе стабилизатора в этом случае свидетельствует о неисправности компонентов *C3* или *C4*. Если же снова выходное напряжение отсутствует, то следует заменить интегральный стабилизатор.

Практика показывает, что выход интегрального стабилизатора из строя при правильной эксплуатации — чрезвычайно редкий случай, если только используется новый компонент. В девяти случаях из десяти отказ связан с ошибками соединения выводов стабилизатора. При этом интегральная схема гораздо быстрее выйдет из строя, чем перегорит плавкий предохранитель, обладающий тепловой инерционностью. Поэтому абсолютно необходима внимательная проверка соединений перед включением источника в сеть. Интегральные стабилизаторы напряжения чаще всего являются наиболее дорогими компонентами в стабилизированных источниках питания, в то время как в нестабили-

зированных источниках таковыми являются трансформаторы. Но последние более инерционны и могут выдержать более существенные перегрузки, чем интегральные стабилизаторы.

Собранный источник можно использовать для питания любых электронных устройств, требующих стабильного напряжения с малым уровнем пульсаций. Нестабильность выходного напряжения здесь не превышает 0,1 %. Это обычно вполне достаточно для питания самой точной аппаратуры.

№ 16. Двуполярный источник питания с последовательными стабилизирующими транзисторами

Рассмотренный нами выше двуполярный источник питания с параметрическими стабилизаторами в выходной цепи используется в работе с операционными усилителями и другими линейными интегральными схемами. Он обеспечивает хорошее качество выходного напряжения при относительно малых токах, потребляемых нагрузкой. Часто, особенно когда нагрузка может изменяться в достаточно широких пределах, параметрические стабилизаторы не могут обеспечить должной стабилизации выходного напряжения и требуется применение более сложных схем. Наиболее простая из них — схема стабилизатора с последовательным транзистором.

Напомним, что двуполярный источник питания имеет два выходных канала с равными, как правило, по абсолютному значению напряжениями, имеющими противоположную полярность относительно общей точки (земли). Поскольку существует два выходных канала, то требуется применение и двух стабилизаторов напряжения. Для образования двух разнополярных напряжений наиболее целесообразно, как и прежде, использовать двухполупериодные выпрямители с выводом нулевой точки.

Схема такого источника питания показана на рис. 5.34. Элементы имеют следующие основные параметры: электролитические конденсаторы *C1*, *C2* — 1000 мкФ, 25 В; электролитические конденсаторы *C3*, *C4* — 100 мкФ, 15 В; стабилитроны *VD5*, *VD6* — 15 В, 1 Вт; диоды *VD1*—*VD4* — 50 В, 3 А; резисторы *R1*, *R2* — 330 Ом, 0,5 Вт; транзистор *VT1* — ECG130 (SYLVANIA); транзистор *VT2* — ECG129 (SYLVANIA); предохранитель *F1* — 0,5 А. Трансформатор *TV* при входном напряжении 115 В имеет полное выходное напряжение 25,2 В при номинальном токе 2 А.

Мы уже рассматривали работу выпрямителей, представленных в этой схеме. Но напомним, что это не мостовой выпрямитель, хотя внешне он очень похож на него. Здесь имеются два двухполупериодных выпрямителя с выводом нулевой точки, один из которых обеспечивает положительное выходное напряжение, а второй — отрицательное. Оба выпрямителя подключены к одной вторичной обмотке, имеющей заземленный вывод средней точки.

Рис. 5.34

Диоды *VD1* и *VD2* находятся в проводящем состоянии только в те полупериоды переменного напряжения, когда напряжение на их анодах положительно. Положительное выпрямленное напряжение, образующееся на катодах этих диодов, фильтруется электролитическим конденсатором *C1*. Между выпрямителем положительного напряжения и выходным выводом положительного канала включен регулирующий транзистор *VT1*. Режим работы транзистора, так же как и режим работы стабилитрона *VD5*, задается резистором *R1*, а конденсатор *C3* выполняет дополнительные фильтрующие функции. Напряжение пробоя стабилитрона *VD5* определяет потенциал базы транзистора *VT1* относительно земли и тем самым значение выходного напряжения, которое здесь равно 15 В.

Аналогичным образом диоды *VD3* и *VD4* находятся в проводящем состоянии только тогда, когда на их катодах напряжение отрицательно. Поэтому в точке соединения анодов этих диодов образуется выпрямленное напряжение отрицательной полярности (относительно нулевой точки), которое фильтруется конденсатором *C2* и через транзистор *VT2* передается на выход отрицательного канала. Транзис-

тор *VT2* (*p-n-p*-типа) отличается от *VT1* (*n-p-n*-типа) тем, что имеет противоположный тип проводимости. Режим работы *VT2* и стабилитрона *VD6*, аналогичного стабилитрону *VD5*, задается элементами *R2*, *C4*. Напряжение на выходе второго канала также равно 15 В, но имеет отрицательный знак.

Источник питания можно собрать в небольшом алюминиевом кожухе, начав, как всегда, с установки сетевого трансформатора и монтажа компонентов первичной цепи. Выпрямители и стабилизаторы целесообразно скомпоновать на отдельной монтажной плате с размерами примерно 400×125 мм. Рисунок 5.35 демонстрирует возможное рас-

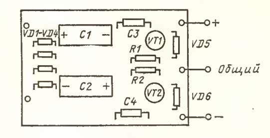


Рис. 5.35

положение элементов на плате. В схеме существует большое количество полярных компонентов, и расположение их в одном канале является как бы зеркальным отражением расположения тех же элементов в другом канале. Поэтому вы можете случайно изменить требуемую полярность включения элементов, если будете недостаточно внимательны при сборке. Следует начинать с монтажа выпрямительных диодов. Если вы используете интегральную мостовую схему, то облегчите себе эту задачу. Найдите в интегральной схеме точку, обеспечивающую положительное выпрямленное напряжение, и соедините с ней остальные элементы, образующие положительный выходной канал: фильтр *C1*, транзистор *VT1* и компоненты *R1*, *C3* и *VD5*. После завершения этой стадии сборки источника тщательно проверьте все соединения. Обратите внимание, что положительный электрод конденсатора *C1* должен быть подключен непосредственно к выходу выпрямителя положительного канала, а положительный электрод конденсатора *C3* и катод стабилитрона *VD5* соединены с базой транзистора *VT1*.

После проверки переходите к монтажу второго канала. Найдите выход отрицательного выпрямленного напряжения (точку соединения анодов диодов *VD3* и *VD4*) и, начиная с него, осуществите соединение всех элементов, образующих отрицательный канал выходного напряжения. Иногда начинающим радиолюбителям трудно усвоить, что положительный полюс электролитического конденсатора тоже может быть заземлен, так как чаще заземляется отрицательный электрод (корпус). Здесь как раз первый случай: второй канал является зеркальным отображением первого, который вами уже собран, и положительные электроды конденсаторов *C2* и *C4*, так же как катод стабилитрона *VD5*, соединены с общей точкой. После завершения монтажа отрицательного канала внимательно проверьте все соединения, сравнивая между собой сборку обоих каналов.

Установите собранную плату вблизи сетевого трансформатора и завершите монтаж, подключив выводы вторичной обмотки и соединив эмиттеры транзисторов с соответствующими выходными гнездами, которые, по-видимому, целесообразнее всего закрепить на корпусе источника питания. Алюминиевое шасси само по себе может обеспечивать соединения выводов элементов, электроды которых связаны с корпусом источника питания. Можно использовать и внешние соединительные провода.

Проверка источника осуществляется следующим образом. Подключите измерительные выводы вольтметра постоянного тока между землей и выходом положительного канала, соблюдая необходимую полярность. После включения переключателя *S1* вольтметр должен показывать 15 В. Если это не так, то быстро разомкните переключатель *S1* и выполните ту же процедуру для отрицательного канала выходного напряжения. При отсутствии напряжений на двух выходах можно говорить о неисправностях в выпрямителях обоих каналов. Если же одно из напряжений присутствует, то неисправность имеется только в одном канале.

Причинами отсутствия выходных напряжений как одного, так и другого знака могут быть дефекты в диодах выпрямителей и ошибки в их соединениях, неисправный трансформатор, перегоревший предохранитель или отсутствие напряжения в сети. Если положительный канал работает нормально, а отрицательный — нет, то ищите неисправности или ошибки соединений в диодах *VD3* и *VD4*, компонентах *C2*, *C4*, *R2*, *VD6* или *VT2*. В противоположной ситуации то же относится к диодам *VD1*, *VD2* и другим ком-

понентам положительного канала. Учтнте, что включенне любого компонента протнвоположным необходнмому образом способно привести к выходу из строя и других элементов. Поэтому прежде чем вновь проводить проверку работоспособности источника, необходнмо заменить все дефектные элементы.

Исправно работающий нсточник обеспечивает разнополярные выходные напряжения при выходном токе каждого канала около 600 мА. С одного нз выходов можно потреблять ток до 1 А, если только прн этом выходной ток по второму выходу не превышает 200 мА. Это объясняется тем, что ток вторичной обмотки трансформатора, обеспечивающий работу как одного, так и второго канала, определяется суммарным потреблением. Если сравнивать рассмотренный здесь источник питания с двуполярным источником, выполненным только на параметрнческих стабилизаторах напряжения, то он является более мощным и обладает лучшимн характеристиками при изменениях выходных токов. Транзисторы *VT1* н *VT2* могут обеспечить н заметно больший ток, еслн они установлены на раднаторах. Однако здесь это не требуется: если придерживаться указанных выше значений выходных токов, то гарантируется соблюденне тепловых режимов транзисторов, обеспечнвающих нх надежную работу в течение длительного времени.

№ 17. Бестрансформаторный источник питания с выходным напряжением 300 В

В устройствах электропитания основную массу и размеры заннмают сетевые трансформаторы, а сами источникн питания во многом определяют объем тех или иных электронных устройств, например усилителей звуковой н радиочастот. В ряде случаев можно создать источннк питания со средним нли высоким уровнем выходного напряжения, не применяя сетевой трансформатор. Трансформаторы, как известно, используются для преобразования сетевого переменного напряжения до уровня, требуемого для получения заданного значения постоянного напряжения на выходе нсточника питания. Если постоянное напряженние таково, что нет необходимости осуществлять преобразованне напряжения сети, то выпрямитель может быть подключен непосредственно к сети. В том случае, когда сеть переменного тока с действующим значением напряжения 115 В (илн даже 230 В) не может дать нужный высокий нлн среднний уро-

вень выходного напряжения, целесообразно применение умножителей напряжения, позволяющих создать компактный источник питания. Именно такой источник показан на рис. 5.36. Используемые в нем компоненты имеют следующие основные параметры: электролитические конденсаторы *C1*, *C2* — 250 мкФ, 250 В; диоды *VD1*, *VD2* — 500 В, 3 А;

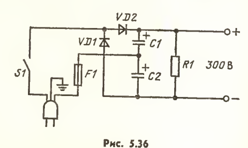


Рис. 5.36

резистор *R1* — 50 кОм, 5 Вт; предохранитель *F1* — 10 А; однополюсный переключатель *S1* — 10 А. Источник имеет выходное напряжение 300 В при малой нагрузке. Это значение уменьшается до 250—275 В при максимальном токе нагрузки, равном 2,5 А. Несмотря на достаточно большую мощность (около 700 Вт), источник имеет незначительные размеры.

В источнике использована стандартная схема двухполупериодного удвоителя напряжения, с которой мы уже несколько раз встречались в этой главе. Основное отличие здесь состоит в том, что отсутствует сетевой трансформатор, а напряжение сети (115 В) непосредственно поступает на вход схемы удвоителя. Габаритные размеры источника определяются в основном конденсаторами *C1* и *C2*, имеющими одинаковые емкости по 250 мкФ каждый. При небольших токах нагрузки вполне подойдут конденсаторы с емкостью 80 мкФ, хотя для уменьшения пульсаций выходного напряжения и улучшения динамических характеристик целесообразно использовать конденсаторы с большой емкостью. Применение конденсаторов с меньшей емкостью (80 мкФ) позволит смонтировать устройство на небольшой монтажной плате, а если использовать конденсаторы с емкостью 250 мкФ, то придется устанавливать их на шасси, что увеличит габариты источника. Диоды *VD1*, *VD2* можно смонтировать и на монтажной плате или можно использовать небольшую монтажную планку, закрепив на ней пайкой

одни из электродов диодов, а вторые припаять непосредственно к выводам компонентов *C1*, *C2*. Дополнительный нагрузочный резистор *R1* должен быть установлен в обязательном порядке: он обеспечивает разряд конденсаторов после выключения источника питания. Параметры предохранителя *F1* и переключателя *S1* выбраны так, чтобы гарантированно можно было получить выходной ток 2,5 А. Здесь этот ток ограничивается типом используемых диодов. Можно было бы в принципе установить диоды с номинальным током 5 или даже 10 А для увеличения выходной мощности. Но следует помнить, что бытовая сеть переменного тока образована с помощью мощных трансформаторов, устанавливаемых на специальных подстанциях, обеспечивающих электрической энергией жилой дом или группу жилых домов. В большинстве жилищ сеть переменного тока защищена плавкими предохранителями или автоматами защиты, рассчитанными на ток 30 А. Это значит, что рассматриваемый здесь источник питания может обеспечить максимальное значение выходной мощности около 3000 Вт. Однако увеличение выходной мощности требует также увеличения емкостей конденсаторов для обеспечения фильтрации выходного напряжения, что обусловливает увеличение габаритных размеров источника питания. Хотя случаи применения мощных источников подобного типа и имеют место, однако их возможности чаще всего ограничиваются устройствами с постоянной нагрузкой.

Использование плавкого предохранителя в этой схеме абсолютно необходимо: оно обеспечивает надежное отключение источника от сети и исключает возможность возникновения пожара в случае коротких замыканий, когда автомат защиты, установленный на входе сети вашей квартиры, по каким-либо причинам не сработает. Это же замечание касается дополнительного нагрузочного резистора *R1*, обеспечивающего безопасность работы с источником питания.

Сборка источника осуществляется обычным образом. Вход сети здесь является аналогом напряжения на вторичной обмотке трансформатора в ранее рассмотренных схемах с использованием умножителей. Источник следует монтировать в металлическом кожухе, соединяемым электрически с системой земли в вашем доме. Это проще всего можно сделать с помощью трехштыревой вилки, нулевой провод которой непосредственно соединяется с корпусом устройства. Так как здесь нет трансформатора и выход источника

имеет непосредствеиный контакт с сетью, то помехи сети будут оказывать влнянне на работу устройств, запитываемых этнм источиником. Особеиио это влияиие сказывается иа звуковом оборудоваиии. В некоторых случаях влияиие помех сетн умеиьшается с помощью прнмеиеиия экраинроваиных кабелей. Одиако чаще всего для этого требуется нспользование гораздо более сложиых фильтровых устройств.

После проведеиня сборкн источиика обязательно тщательнейшнм образом проверьте схему иа отсутствие коротких замыканнй и ошнбок в моитаже, так как их налнчие обязательно вызовет порчу компонентов. Подключнв внлку к сетн, устаиовите на выходе нсточника вольтметр и замкинте переключатель *S1*. Если источник работает нормально, то выходное иапряженне будет около 300 В. Точиое зиаченне определяется возможнымн колебаииями иапряжения сетн: еслн оно точно равно 115 В, то показание вольтметра будет блнже к 320 В.

Этот нсточиик пнтания наиболее прост среди всех рассмотренных иамн ранее. Поэтому и отысканне иеисправностей здесь не вызывает особых затрудиеиий. Причинами отсутствня выходного иапряжения могут быть иенсправностн днодов, перегоранне предохраннтеля, обрывы в проводиых соедннениях нли отсутствне сетевого иапряжения. Перегоранне предохраннтеля свндетельствует о иалнчин короткого замыкання, вызванного ненсправным компоиентом или ошнбкой соедннення. Короткое замыкаине способно вывестн нз строя и другие исправные компонеиты. Поэтому после устранения прнчины короткого замыкания необходнмо проверить все элементы источннка питания.

На этом можно было бы н ограннчнться, но следует иапомнить, что здесь отсутствует сетевой трансформатор и, следовательио, нзоляция от сетн переменного тока. Поэтому работа с нсточником требует осторожности н еще раз осторожностн! Любой нз выводов схемы нельзя считать точкой, нмеющей инзкий потеицнал. Контакт с любой точкой схемы способеи в лучшем случае вызвать тяжелые электрическне поражения. Цель этого замечання — не запугать чнтателя, но обратнть вннмание на иеобходимость иеукосннтельного соблюдення мер безопасности, особенно для тех, кто привык работать с устройствами, имеющими иизкие иапряжения питания.

№ 18. Бестрансформаторный источник питания с выходным напряжением 600 В

Воспользовавшись принципиальной электрической схемой только что рассмотренного источника питания, можно получить выходное напряжение около 600 В, если действующее значение напряжения сети переменного тока равно 230 В. Схемы полностью совпадают, но, конечно, следует использовать компоненты с другими параметрами, а именно: конденсаторы *C1* и *C2* — 250 мкФ, 450 В; диоды *VD1* и *VD2* — 1000 В, 1,5 А; резистор *R1* — 10 кОм, 5 Вт. Все остальные элементы имеют прежние параметры, но должны быть рассчитаны на работу с сетью 230 В. Таким образом, причиной увеличения выходного напряжения является увеличение напряжения сети.

Если сравнивать между собой параметры компонентов двух бестрансформаторных источников, то можно заметить, что емкости конденсаторов *C1* и *C2* имеют прежние значения, но в 2 раза возросло рабочее напряжение конденсаторов. Аналогично этому удвоились значения максимального обратного напряжения диодов (1000 В) и сопротивления дополнительного нагрузочного резистора *R1*. Номинальная мощность последнего осталась прежней, но диоды рассчитаны на средний ток 1,5 А. Если в предыдущем случае максимальный выходной ток составлял примерно 2,5 А, то здесь он почти в 2 раза меньше и равен 1 А. Поэтому выходная мощность остается примерно на прежнем уровне (около 600 Вт). Следует внести еще одно изменение в схему источника. Поскольку используется сеть переменного тока с напряжением 230 В и нейтраль сети не задействована, то целесообразно использовать не один, как в предыдущем случае, а два плавких предохранителя, каждый из которых должен быть включен последовательно с одним из выводов сети. Это необходимо для обеспечения более безопасной работы с источником питания.

Поскольку две рассмотренные схемы бестрансформаторных источников питания идентичны, то и их конструктивное исполнение, и методика проверки работоспособности одинаковы. При отсутствии нагрузки выходное напряжение второго источника в зависимости от значения сетевого напряжения лежит в пределах от 600 до 650 В. Это напряжение может быть использовано для питания анодных цепей электронных ламп и других подобных целей. Как и прежде, можно увеличить выходную мощность, применив соответст-

вующие компоненты. При этом следует, конечно, не превышать мощность, которую способна отдать сеть в вашем жилище.

Второй источник питания имеет некоторое преимущество перед первым. Оно состоит в том, что включенный в сеть переменного тока с действующим значением напряжения 115 В второй источник будет безопасно обеспечивать выходное напряжение 300 В, так как предельные параметры его компонентов здесь заведомо не будут превышены. Следует, однако, напомнить, что использование диодов с номинальным током 1,5 А позволит в этом случае получить выходную мощность, вдвое меньшую, чем мощность первого источника. Еще одно отличие состоит в том, что при отключении такого источника от сети конденсаторы будут разряжаться через большее сопротивление нагрузочного резистора *R1*. Поэтому время разряда конденсаторов возрастет, но так как оно лежит в пределах нескольких секунд, то это не создаст дополнительной угрозы безопасности при работе.

№ 19. Регулируемый источник питания с интегральным стабилизатором напряжения

Большинство из источников питания, которые мы рассмотрели в настоящей главе, имеют один стабилизированный или нестабилизированный уровень выходного напряжения. Некоторые имели два выходных канала с напряжениями либо одинаковой, либо противоположной полярности. Но практически нигде нельзя было регулировать или изменять уровень постоянного выходного напряжения (или напряжений), не изменяя существенным образом параметры используемых компонентов, особенно коэффициент трансформации сетевых трансформаторов. Подобные источники целесообразно применять для питания тех или иных конкретных электронных устройств, работающих при вполне определенном напряжении питания. Однако они абсолютно непригодны для лабораторных исследовательских целей, когда требуется изменять значение напряжения питания в широких пределах в зависимости от того, какие электронные схемы подлежат проверке. Например, нет ничего необычного в электронных цепях, требующих напряжений питания 3,9; 5,6; 7,5; 9; 12; 15; 18 В и т. п. Утверждение о том, что для большинства электронных устройств необходимо постоянное напряжение питания 6, 9 или 12 В, конеч-

но, справедливо. Но не менее верно и то, что существует множество исключений из этого правила. Представляется очевидным, что изготовление отдельного источника питания на каждый из таких случаев не является разумным решением вопроса с любых точек зрения.

К счастью, подобному решению есть альтернатива. Она состоит в создании одного регулируемого источника постоянного напряжения, т. е. такого источника питания, в котором уровень выходного напряжения, чаще всего стабилизированный уровень, можно регулировать (или изменять) простыми средствами. На заре развития электроники эта задача решалась следующим образом. Выполнялся один источник питания, обеспечивающий необходимый максимальный уровень выходного напряжения, и на его выходе устанавливался резистивный делитель напряжения, позволяющий получать меньшие значения выходного напряжения. Часто также последовательно с нагрузкой включался балластный резистор, с тем чтобы уменьшить выходное напряжение. При изменении тока, потребляемого нагрузкой по любому из выходов, здесь приходилось каждый раз вручную производить соответствующую корректировку, чтобы установить требуемый уровень выходного напряжения. Применение подобных устройств в настоящее время совершенно неоправдано.

Первые регулируемые источники питания, выполненные на полупроводниковых элементах, были также очень сложны. Они содержали электронные цепи с дискретными компонентами, позволяющими изменять управляющее напряжение последовательно включенных регулирующих транзисторов и тем самым изменять проводимость транзисторов. Очевидно, что для уменьшения выходного напряжения следует уменьшать проводимость (или увеличивать сопротивление) последовательного регулирующего элемента, и, напротив, для увеличения выходного напряжения эту проводимость нужно увеличивать. Работа таких источников питания базируется на основе действия стабилизаторов напряжения с последовательно включенными регулирующими элементами.

Развитие интегральной схемотехники и технологии позволяет в настоящее время создавать очень простые и надежные в работе стабилизированные источники питания с регулируемым уровнем выходного напряжения. На рис. 5.37 представлена схема такого источника, позволяющего получить выходное напряжение, регулируемое в пределах от

1,5 до 25 В при токе нагрузки 1 А. Выходное напряжение во всем диапазоне изменения стабилизировано и может применяться для питания любых электронных схем, критичных к качеству питающего напряжения. Компоненты схемы имеют следующие основные характеристики: электролити-

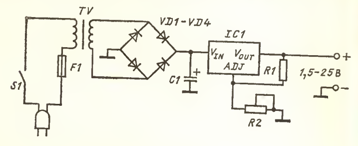


Рис. 5.37

ческий конденсатор *C1* — 2500 мкФ, 50 В; диоды *VD1*—*VD4* — 50 В, 3 А; резистор *R1* — 250 Ом, 0,5 Вт; потенциометр *R2* — 5 кОм, 0,5 Вт; интегральный стабилизатор *IC1* — LM117; предохранитель *F1* — 0,5 А. Трансформатор *TV* при входном напряжении 115 В имеет номинальный выходной ток 3 А и напряжение 25,2 В.

Нестабилизированная часть источника питания выполнена с использованием двухполупериодного мостового выпрямителя. Выпрямленное напряжение фильтруется конденсатором *C1* с емкостью 2500 мкФ. Может быть, значение емкости относительно велико, но оно обеспечивает уменьшение пульсаций выходного напряжения выпрямителя и тем самым способствует улучшению качества выходного напряжения источника питания. Принципиально ничто не мешает использовать конденсатор с несколько меньшей емкостью.

Основные функции (регулирования и стабилизации) выполняет здесь интегральный стабилизатор LM117. Ранее мы рассматривали его использование для получения значения выходного напряжения 1,25 В. Здесь входной (V_{IN}) и выходной (V_{out}) выводы интегрального стабилизатора подключены прежним образом: один — к выходу фильтра, другой — к выходному гнезду источника питания, а третий вывод (*ADJ*) в отличие от предыдущего случая подключен к средней точке делителя напряжения, образованного по-

следовательным соединением резисторов *R1*, *R2*. Изменяя переменное сопротивление *R2*, имеющее линейную регулировочную характеристику, можно изменять уровень выходного напряжения. В этой схеме минимальное его значение равно 1,25 В.

За исключением интегрального стабилизатора и потенциометра *R2*, все элементы источника можно собрать на относительно небольшой монтажной плате. Если необходимо получение максимального выходного тока 1 А, то для установки стабилизатора необходимо использовать радиатор. При выходных токах порядка 100 мА это делать необязательно, так как в этом случае гарантируется безопасный тепловой режим работы стабилизатора. В последнем случае его можно расположить на монтажной плате со всеми остальными элементами. Потенциометр *R2* следует укрепить на передней стенке корпуса шасси, просверлив в нем отверстие необходимого диаметра для ручки потенциометра. На шасси устанавливается также трансформатор с остальными элементами. Соединения потенциометра *R2*, включенного как переменное сопротивление, должны выполняться возможно более короткими проводниками. Рисунок 5.38 показывает, как это целесообразно сделать.

К выводу ADJ

Рис. 5.38

IC1 V_{OUT}

Амперметр

Вольтметр

Рис. 5.39

Конструкция источника питания весьма проста, а расположение элементов может быть достаточно произвольным, за исключением того, что интегральный стабилизатор следует устанавливать возможно ближе к конденсатору фильтра. Необходимо внимательно следить за соблюдением совпадения монтажных соединений с соединениями в принципиальной схеме источника питания. Ошибки здесь способны полностью вывести интегральный стабилизатор из строя.

После сборки источника вновь тщательно проверьте качество паяных соединений, удостоверьтесь в отсутствии слу-

чайных коротких замыканий и обрывов соединительных проводов. Вслед за этим можно приступить к проверке работоспособности источника. Для этого подключите к выходным зажимам вольтметр, установив переключатель его шкалы так, чтобы можно было измерять постоянные напряжения до 30 В. Установите движок потенциометра так, чтобы его сопротивление имело максимальное значение (контакт средней точки потенциометра соединен с землей). После включения источника в сеть вольтметр должен показывать напряжение, находящееся в пределах от 25 до 28 В. Если теперь вращать движок потенциометра, то выходное напряжение должно уменьшиться вплоть до значения 1,5 В или несколько меньшего при полном повороте движка в противоположную сторону (сопротивление *R2* равно нулю).

При отсутствии выходного напряжения необходимо снова проверить все соединения. Сделав это и убедившись в отсутствии ошибок, отсоедините временно интегральный стабилизатор от конденсатора фильтра и измерьте напряжение на последнем. Причинами отсутствия напряжения здесь могут быть неисправности трансформатора, отсутствие напряжения на первичной обмотке, дефекты выпрямительных диодов или возможный обрыв соединения между конденсатором и выпрямителем. При наличии выпрямленного напряжения, значение которого составляет примерно 35 В, вновь подключите интегральный стабилизатор и измерьте выходное напряжение. Если оно по-прежнему равно нулю, то временно отсоедините вывод *ADJ* стабилизатора от делителя напряжения и подключите его к земле. При нормально работающем стабилизаторе выходное напряжение должно быть примерно равно 1,25 В. В противном случае стабилизатор следует заменить.

Нормально работающий источник питания обеспечивает стабильное выходное напряжение, изменяющееся в пределах от 1,5 до 25 В. При проверке источника значение выходного напряжения измеряется внешним вольтметром. Это не очень удобно, и для универсальности следует снабдить источник питания встроенным в него указателем напряжения. Один из возможных способов здесь может быть установка указателя на ручку потенциометра и использование соответствующей шкалы, сделанной на корпусе источника. Однако точность установки выходного напряжения в этом случае невелика. Поэтому, возможно, многие предпочтут воспользоваться для этих целей компактными измерительными

приборами, устанавливаемыми непосредственно в корпусе источника питания. Для придания еще большей универсальности можно снабдить источник с внутренне встроенным амперметром, позволяющим контролировать уровень выходного тока. Рисунок 5.39 иллюстрирует подключение выводов вольтметра. Обратите внимание на необходимость соблюдения полярности соединения измерительных выводов вольтметра и амперметра. В совокупности с этими измерительными приборами рассмотренный источник становится универсальным устройством электропитания, пригодным для различных исследовательских целей.

№ 20. Солнечные батареи

Сеть переменного тока, а также аккумуляторные батареи являются наиболее распространенными источниками электрической энергии. В рассмотренных устройствах электропитания именно сеть переменного тока служит первичным источником энергии. Таким источником может быть и энергия солнечного излучения. Конечно, многие слышали о солнечных элементах, преобразующих энергию видимого солнечного излучения в электрическую. Более точное название таких элементов — фотогальванические элементы. Основное их назначение — генерация электрического тока под воздействием света. Устройство фотогальванического элемента схематически показано на рис. 5.40. Он состоит

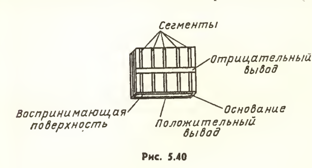


Рис. 5.40

из двух тонких слоев кристаллического кремния. Каждый из слоев в результате соответствующей технологической обработки приобретает определенный тип проводимости: в p-слое проводимость обусловлена в основном движением свободных положительных зарядов, в n-слое — отри-

цательных. Так как детальное изучение принципов работы полупроводниковых приборов не является целью настоящей книги, отметим только, что в области контакта двух слоев образуется тончайшая переходная область (*p-n* переход), в которой существует внутреннее электрическое поле. При освещении области перехода светом в ней генерируются свободные положительные и отрицательные электрические заряды, которые разделяются внутренним полем и накапливаются в соответствующих областях (положительные — в *p*-слое, отрицательные — в *n*-слое). В результате этого между слоями образуется так называемая фотоэлектродвижущая сила (фото-ЭДС). При подключении к фотоэлементу внешней нагрузки в ней потечет ток в направлении от положительного потенциала к отрицательному. В этом суть фотогальванического эффекта.

Для получения различных уровней напряжения и тока солнечные элементы можно соединять последовательно и параллельно, образуя солнечные батареи. Выходной ток элемента прямо пропорционален интенсивности света, падающего на него, и площади освещаемой поверхности. При одинаковой интенсивности света элемент, имеющий, например, вдвое большую площадь, сможет обеспечить соответственно вдвое большее значение выходного тока при прочих равных условиях. В противоположность этому фото-ЭДС от площади элемента не зависит. Большинство солнечных элементов имеют выходные напряжения около 0,45 В, хотя эти значения и могут несколько различаться в зависимости от конкретного конструктивно-технологического исполнения. Для увеличения выходного напряжения солнечных батарей необходимо последовательное соединение фотоэлементов.

Само собой разумеется, что солнечная батарея может служить источником электропитания только при освещении ее естественным или искусственным светом. Даже при средних мощностях требуется такой световой поток, что работа солнечных батарей невозможна в пасмурные дни и тем более в ночные часы. Поэтому чаще всего используется совместная работа солнечных батарей и аккумуляторов электрической энергии, выполненных на восстанавливаемых гальванических элементах. Энергия, поступающая от солнечных батарей, накапливается в аккумуляторах и затем может быть использована для питания различных нагрузочных цепей. Если нагрузку запитывать непосредственно от солнечных батарей, то любое изменение освещенности бу-

дет приводить к изменению напряжения питания или даже к полному его исчезновению. При параллельном соединении солнечной батареи с аккумулятором и наличии светового потока солнечная батарея выполняет две функции: во-первых, она обеспечивает электропитание нагрузки, подключенной к общим выходным полюсам указанного параллельного соединения, и, во-вторых, солнечная батарея обеспечивает заряд аккумулятора. Исчезновение освещения в этом случае приводит к тому, что заряженный аккумулятор полностью обеспечивает требуемый выходной ток. Таким образом, рассмотренная совокупность является универсальным первичным источником электрической энергии.

Мы уже говорили о том, что выходное напряжение солнечного элемента примерно равно 0,45 В и слабо зависит от потребляемого тока. Этого напряжения едва ли достаточно для питания любого электронного устройства, и необходимо средство для увеличения выходного напряжения. Работающий фотоэлемент хотя и не накапливает электрическую энергию, но аналогичен любому гальваническому элементу в том смысле, что имеет два выходных полюса, один из которых положителен, а второй отрицателен.

Увеличение выходного напряжения аккумуляторов достигается последовательным соединением элементов так, что положительный полюс каждого последующего элемента оказывается объединенным с отрицательным полюсом предыдущего. Если мы соединим последовательно три идентичных гальванических элемента, то общее выходное напряжение будет втрое больше напряжения одного элемента. Номинальный выходной ток такого аккумулятора останется таким же, как и выходной ток одного элемента. Если, например, гальванический элемент с напряжением 4,5 В обеспечивал выходной ток 1 А, то три элемента, соединенных последовательно, образуют источник с напряжением 13,5 В и выходным током 1 А. Таким образом, при последовательном соединении гальванических элементов суммируются только их напряжения.

Распространим это правило применительно к солнечным элементам, последовательное соединение которых показано на рис. 5.41. Обратите внимание на то, что положительный полюс первого (справа) фотоэлемента соединен с отрицательным полюсом второго и, в свою очередь, положительный полюс второго элемента связан с отрицательным полюсом третьего. Фотоэлементы соединены последовательно подобно обычным гальваническим элементам.

Теперь порассуждаем о том, что дает рассмотренное соединение. Один солнечный элемент вырабатывает напряжение 0,45 В и способен отдать в нагрузку ток 0,1 А. Соединив три фотоэлемента последовательно, мы получили источник с напряжением 1,35 В и выходным током 0,1 А.

Рис. 5.41

Рис. 5.42

Конечно, полученный источник способен отдать в нагрузку мощность, которая в 3 раза превышает нагрузочную способность одного фотоэлемента. Номинальная выходная мощность равна произведению значений выходных напряжения и тока ($P=UI$). Один элемент имеет выходную мощность 0,045 Вт ($0{,}45\times0{,}01=1/25$). При последовательном соединении выходное напряжение в 3 раза возрастет при сохранении прежнего значения тока. Поэтому выходная мощность составит 0,135 Вт ($1{,}35\times0{,}01=1/8$).

В устройствах электропитания последовательное соединение фотоэлементов является, скорее, правилом, чем исключением. Вы можете часто встретить источники, где последовательно соединены 5, 10 или более элементов. Даже для образования источника с выходным напряжением 6 В потребовалось бы использовать, по крайней мере, 13 элементов. Чтобы получить источник с напряжением, эквивалентным автомобильному аккумулятору (12 В), необходимо было бы не зависимо от выходной мощности включить последовательно не менее 26 фотогальванических элементов.

Теперь давайте рассмотрим, каким образом можно увеличить выходной ток солнечной батареи, предположив, что один солнечный элемент по-прежнему обеспечивает напряжение 0,45 В и ток 0,1 А, т. е. выходную мощность, равную примерно 1/25 Вт. Можно ли соединить элементы так, чтобы при выходном напряжении 0,45 В обеспечить в нагрузке ток 0,3 А? Конечно, можно, если соединить три элемента параллельно. Если при последовательном соединении скла-

дываются напряжения отдельных элементов, в результате чего образуется общее выходное напряжение при неизменном выходном токе, то параллельное соединение приводит к суммированию выходных токов отдельных элементов при постоянном уровне выходного напряжения. На рис. 5.42 показано параллельное соединение трех фотогальванических элементов. Обратите внимание, что объединены между собой соответственно положительные и отрицательные полюсы отдельно взятых элементов, при этом выходное напряжение совокупного параллельного соединения равно 0,45 В, но выходной ток увеличится втрое и составит 0,3 А. Понятно, что возрастет и выходная мощность. Если воспользуемся формулой $P=UI$, то получим значение выходной мощности около 1/8 Вт ($0{,}45\times0{,}3$). Это то же значение, которое можно было получить путем последовательного соединения трех элементов.

Рассмотренные примеры позволяют сделать следующие выводы. Каждый отдельно взятый солнечный элемент, так же как и гальванический элемент, может отдавать в нагрузку вполне определенную мощность, которая в заданных условиях постоянна. Добавление каждого нового элемента приводит к пропорциональному увеличению этой мощности. Три элемента могут обеспечить втрое большую выходную мощность, чем один из них. Точно так же, используя 30 элементов, можно увеличить выходную мощность в 30 раз и т. д. Мощность возрастает пропорционально с увеличением количества элементов, но увеличение выходного напряжения или выходного тока определяется способом соединения элементов друг с другом. Иными словами, поставляемая энергия всегда возрастает вне зависимости от того, каким образом, последовательно или параллельно, соединены элементы. Если один элемент способен отдавать мощность 1 Вт, то 20 элементов способны обеспечить выходную мощность 20 Вт, как бы они ни были соединены. При последовательном соединении суммируются напряжения каждого элемента и выходное напряжение возрастет в 20 раз, но выходной ток будет иметь такое же значение, как и у одного компонента. При параллельном соединении те же 20 Вт выходной мощности будут обеспечиваться током, значение которого в 20 раз больше выходного тока одного элемента, но выходное напряжение останется на уровне одного элемента.

Мы никак не можем воздействовать на предельное значение выходной мощности, которое определяется только

количеством элементов. Но в наших силах соединить элементы таким образом, как того требует то или иное конкретное электрическое устройство, источником питания которого служит солнечная батарея. Одна электронная схема может, например, нормально работать при напряжении питания не ниже 1,35 В, которое достигается последовательным включением трех солнечных элементов. Для питания другой схемы может быть достаточно напряжения 0,45 В, но необходим ток в 0,3 А. Это обеспечивается параллельным включением трех элементов, которое дает то же предельное значение выходной мощности, что и последовательное соединение трех элементов. Способ соединения группы, состоящей из заданного числа элементов, определяет номинальные значения выходных напряжения и тока, не изменяя суммарного значения выходной мощности.

Предположим, что некоторая электронная цепь требует для своей работы напряжения 1,35 В и потребляет ток 0,3 А. Каким образом можно сделать источник питания такой схемы, использовав солнечные элементы? Воспользовавшись формулой $P=UI$, мы легко можем установить, что мощность требуемого источника питания в 3 раза превышает мощность, которую способна отдать группа из трех последовательно или параллельно соединенных фотоэлементов (1,35×0,3). Увеличение выходной мощности может быть достигнуто только путем увеличения количества элементов. Здесь необходимо использовать девять элементов, что даст как раз нужную выходную мощность (примерно 0,4 Вт). Но как соединить эти девять элементов, чтобы получить выходное напряжение 1,35 В и ток 0,3 А? Если соединить их последовательно, то получится общее напряжение 4,05 В (0,45×9), а необходимо только 1,35 В. При параллельном соединении эквивалентный источник питания будет иметь выходной ток 0,9 А при напряжении 0,45 В.

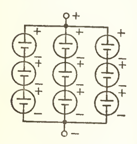


Рис. 5.43

Решение задачи состоит в комбинированном — последовательно-параллельном — объединении девяти элементов, показанном на рис. 5.43. Три группы, каждая из которых состоит из трех последовательно включенных солнечных элементов, соединены здесь параллельно. Каждая из трех названных групп вырабатывает напря-

жение 1,35 В и способна отдать ток 0,1 А. Три эти группы, соединенные параллельно и обеспечивающие нужное значение выходного напряжения (1,35 В), увеличивают суммарный выходной ток до 0,3 А.

Если бы возникла необходимость увеличить выходное напряжение, сохранив прежнее значение выходного тока, то нужно было бы в каждую из последовательных групп добавить требуемое количество элементов. Но увеличение выходного тока при сохранении прежнего уровня напряжения требует параллельного подключения соответствующего количества групп, каждая из которых состоит из трех последовательно соединенных элементов. Например, увеличение значения выходного тока до 0,4 А, достигается включением одной подобной последовательной группы. Рисунок 5.44 демонстрирует различные возможности объединения

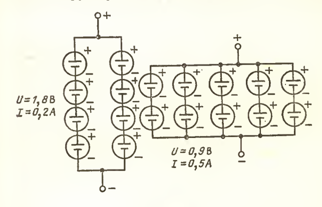


Рис. 5.44

десяти солнечных элементов. Обратите внимание на параметры эквивалентных источников питания, образованных различными соединениями.

Использовав солнечные элементы, можно создать простой источник питания, предназначенный для заряда восстанавливаемых гальванических элементов с напряжением 1,5 В. Число гальванических элементов, которое можно одновременно подключить к выходным зажимам такого источника, будет зависеть как от интенсивности солнечного излучения, падающего на воспринимающую поверхность солнечной батареи, образованной последовательным соединением четырех солнечных элементов, так и от типа солнеч-

ных элементов. Некоторые типы солнечных элементов обеспечивают выходной ток около 20 мА. Этого вполне достаточно для медленного восстановления одного-двух маломощных гальванических элементов. Однако существуют фотоэлементы с выходным током от 0,5 до 1,2 А. Они могут использоваться для заряда более мощных гальванических элементов. Кроме того, они могут обеспечить достаточно большой выходной ток и при относительно низкой естественной освещенности или даже под воздействием искусственного света. Определяющими факторами здесь являются стоимость и назначение солнечной батареи. Если требуется достаточно мощный и более универсальный источник питания, вы, конечно, предпочтете использование более мощных и качественных фотогальванических элементов, которые, разумеется, имеют более высокую цену.

На рис. 5.45 представлена схема простого зарядного устройства. Оно состоит из четырех включенных последова-

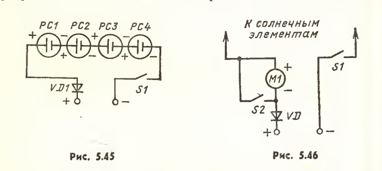


Рис. 5.45

Рис. 5.46

тельно солнечных элементов. Обратите внимание, что отрицательный полюс первого элемента соединен с положительным полюсом второго, отрицательный полюс второго — с положительным третьего и т. д. Результирующее напряжение такого последовательного соединения составляет 1,8 В (0,45×4) и несколько превышает требуемое значение (1,5 В). Для того чтобы погасить избыток напряжения, а также предотвратить возможность повреждения солнечной батареи при подключении внешнего источника с высоким уровнем напряжения, используется диод *VD1*. Выходное напряжение всего зарядного устройства в этом случае будет иметь значение около 1,5 В. На практике напряжение большинства восстанавливаемых гальванических элементов несколько меньше чем 1,5 В. Поэтому в принципе можно ис-

пользовать последовательное включение только трех солнечных элементов и исключить из зарядного устройства диод. Но при этом в процессе работы следует быть осторожным и контролировать напряжение подключаемых гальванических элементов, с тем чтобы избежать повреждения солнечной батареи. Поэтому целесообразнее все-таки использовать включение четырех солнечных элементов.

Конструктивное выполнение зарядного источника зависит от типа используемых элементов. Маломощные элементы обычно имеют прямоугольную форму и могут быть смонтированы на небольшой монтажной плате. Более мощные элементы целесообразно размещать на прочной алюминиевой основе, обеспечив необходимую изоляцию солнечных элементов. Металлическое основание выполняет также роль теплоотводящего радиатора и обеспечивает более легкий температурный режим солнечных элементов, нагревающихся в процессе работы.

Какая бы монтажная поверхность ни использовалась, необходимо, чтобы она обладала определенной жесткостью. В противном случае при изгибах монтажной платы может произойти механическое повреждение элементов, большинство из которых собирается на тонких пластинах из стеклопластика. Если подобное повреждение происходит, то оно необязательно приводит к потере элементами своих функциональных возможностей. Их можно склеить клеем или лентой, а для электрического объединения между собой положительных электродов, образующих основания элементов, использовать металлическую фольгу. Монтажная панель должна устанавливаться на какой-нибудь поворотный штатив или подставку, которые позволяли бы вращать солнечную батарею и располагать ее воспринимающую поверхность перпендикулярно солнечным лучам.

Монтаж здесь весьма прост. Конечно, необходимо соблюдать последовательность соединения выводов солнечных элементов. Единственный неполярный элемент — миниатюрный однополюсный выключатель *S1* — в принципе можно не устанавливать, так как при отсутствии нагрузки, представляющей восстанавливаемые гальванические элементы, цепь разомкнута и ток отсутствует.

Необходимо также обеспечить правильное включение диода *VD1*. При изменении полярности включения диода и подключении нагрузки диод будет находиться под обратным смещением, что препятствует протеканию тока в цепи. Диод должен быть рассчитан на максимальный выход-

ной ток солнечной батареи. Если применяются элементы с выходным током 20 мА, то такой же максимальный ток обеспечивает нсточник, собранный из четырех включенных последовательно элементов. Поэтому практически любой кремниевый днод можно использовать в этой схеме, так как подавляющее большинство выпускаемых днодов имеют номинальное значение прямого тока не ниже 50 мА. Существует большое разнообразне диодов с прямым током 1 А и обратным напряжением 50 В. Использование этнх диодов позволяет применить почти любой тип солнечных элементов в нсточнике. Впрочем, имеются весьма дорогостоящие и малодоступные элементы, выходной ток которых превышает 1 А. Если вы предпочтете их другим элементам, то установите в солнечной батарее диод, прямой ток которого в 1,2 раза превышает ток солнечных элементов.

Здесь нет необходимости нспользовать какой-либо корпус для источника, так как воспрнннмающая поверхность солнечной батарен должна быть открытой. Поэтому большннство солнечных батарей имеют конструктивно внд рамы. Многне используют эпоксидный клей для закрепления солнечных элементов на монтажной площадке. Это, конечно, правильно, но следует заметить, что закрепленные такнм образом элементы практически невозможно снять нли заменнть, не повредив их. По этой причине можно рекомендовать предварительно сделать паяные соединения, полностью проверить работоспособность источника и уже после этого закрепнть элементы окончательно. В протнвном случае неправильно установленный элемент, закрепленный эпоксидным клеем, следует сначала нзъять, что непременно прнведет к его повреждению и необходнмостн замены новым элементом.

После завершения сборки проверьте правильность соеднненмя полюсов солнечных элементов. Убеднтесь, что положительный вывод соединен с нижней торцевой частью одного элемента в последовательной группе, а отрицательный вывод — с противоположным элементом в последовательном ряду. Удостоверьтесь в правнльностн включения диода. Затем подключите к выходным выводам вольтметр н включите переключатель *S1*, направив на восприннмающую поверхность снльный источннк света (мощную лампу накаливания или люминесцентную лампу). Вольтметр должен показывать напряжение около 1,5 В. В зависимостн от тнпа используемых элементов показання могут колебаться в пределах нескольких десятых долей вольта. Наличие вы-

ходного напряжения свидетельствует о работоспособности источника и возможности его использования для заряда гальванических элементов или питания других устройств, требующих напряжения 1,5 В.

Если выходное напряжение отсутствует, то более чем вероятно, что неправильно соединены солнечные элементы или диод. Последняя ошибка определяется очень просто: необходимо измерить напряжение непосредственно на солнечной батарее. Если оно есть, то диод включен обратным образом. В противном случае следует измерить напряжение на каждом из солнечных элементов. Конечно, при этом предполагается, что воспринимающие поверхности элементов освещены. Используя такую методику, можно быстро найти поврежденный элемент. Правда, подобное случается чрезвычайно редко.

Собранный источник питания целесообразно снабдить специальным держателем для установки восстанавливаемых гальванических элементов. Дальнейшее усовершенствование состоит в добавлении амперметра, позволяющего определять ток, потребляемый от источника в процессе заряда гальванических элементов. Максимальное показание амперметра должно соответствовать предельному значению выходного тока источника. Следует отметить, что амперметр — это полярный элемент. Поэтому его следует включить в цепь источника так, как это показано на рис. 5.46. Обратите внимание на наличие второго миниатюрного выключателя *S2*, замыкание которого закорачивает выводы миллиамперметра *M1*. Это сделано по следующим причинам. Хотя измерительный амперметр и обладает малым сопротивлением, но тем не менее при включении его в последовательную цепь на нем существует некоторое падение напряжения. При низком значении выходного напряжения это падение напряжения может быть заметной частью общего напряжения. Поэтому, измерив выходной ток, следует замкнуть выключатель *S2*, что исключит падение напряжения на амперметре. При необходимости измерения тока вновь необходимо разомкнуть контакты переключателя *S2*. Таким образом, замыкание переключателя *S2* несколько увеличивает выходное напряжение источника. Необходимость этого действия можно определить, сравнив выходное напряжение нагруженного источника с номинальным напряжением гальванического элемента, подлежащего восстановлению. Если напряжение источника немного меньше напряжения гальванического элемента, то контакты пере-

ключателя $S2$ следует замкнуть. В противном случае это делать необязательно.

Выше отмечалось, что следует избегать перегрева солнечных элементов. Поэтому, особенно в жаркие летние дни, работающий источник следует располагать на подоконнике раскрытого окна так, чтобы на него падали прямые солнечные лучи и одновременно осуществлялась хорошая циркуляция воздуха вокруг источника. Исключением может быть установка источника на верхней крышке бытового кондиционера перед закрытым окном. В этом случае охлажденный поток воздуха устраняет возможный перегрев солнечных элементов под воздействием теплового излучения солнца.

№ 21. Устройство защиты источников питания с высоким и средним уровнями выходных напряжений

В настоящее время в выпрямителях источников питания используются преимущественно полупроводниковые диоды. Они значительно превосходят по своим характеристикам применявшиеся ранее электровакуумные диоды, так как обладают лучшим коэффициентом полезного действия, меньшими габаритами, большей универсальностью применения и повышенным быстродействием. Но последнее преимущество обусловливает и недостаток полупроводниковых выпрямителей, состоящий в том, что они более чувствительны, чем электронные лампы, ко всякого рода перегрузкам. При первоначальном включении источника питания в сеть конденсатор емкостного фильтра, установленный на выходе выпрямителя, полностью разряжен. Поэтому в начальные моменты времени можно считать, что эквивалентной нагрузкой выпрямителя является короткозамкнутая цепь и через диоды выпрямителя протекает ток, значение которого заметно превышает ток диодов в установившемся режиме работы. Подобное состояние продолжается в течение долей секунды и заканчивается тогда, когда напряжение на конденсаторе фильтра достигнет определенного уровня. Можно считать, что этот уровень примерно равен половине установившегося значения выходного напряжения. Электровакуумные диоды вследствие своей инерционности не чувствительны к выбросам тока в переходном режиме. Однако этого нельзя сказать о полупроводниковых диодах, которые могут выйти из строя при первоначальном включении источника. Поэтому необходимо предусмотреть специ-

альные защитные меры, особенно в устройствах электропитания с высокими и средними уровнями выходных напряжений.

Существуют различные методы предотвращения токовых перегрузок, возникающих при первоначальном включении источников питания. Один из них состоит в использовании управляемого дросселя, который включается последовательно с первичной обмоткой трансформатора источника питания. В первые моменты времени после подключения сетевого напряжения дроссель обладает большим сопротивлением, которое с течением времени постепенно уменьшается. Вследствие этого напряжение на первичной обмотке трансформатора медленно возрастает, что и обеспечивает уменьшение токовых перегрузок диодов схемы выпрямления.

Однако использование управляемого дросселя заметно удорожает и усложняет схему источника питания. Гораздо более простой способ реализован в схеме, показанной на рис. 5.47. Резистор *R1* здесь имеет переменное сопротивление (50 Ом, 20 Вт), а реле *RY1* с нормально разомкнутыми контактами рассчитано на 115 В. Принцип действия защитной цепи основан на ограничении тока в первичной цепи и, следовательно, напряжения на первичной обмотке трансформатора путем внесения последовательного сопротивления *R1*. При включении первичной цепи в сеть переменного тока с действующим значением напряжения 115 В напряжение на первичной обмотке трансформатора будет меньше этого значения, так как протекающий в первичной цепи ток вызывает падение напряжения на резисторе *R1*. Совершенно очевидно, что в этом случае уменьшается и напряжение на вторичных обмотках трансформатора, что приводит к уменьшению выходного напряжения источника питания. Вследствие этого резистор *R1* с течением времени должен быть отключен. Его наличие необходимо только в первые доли секунды после включения источника в сеть для того, чтобы предотвратить воз-

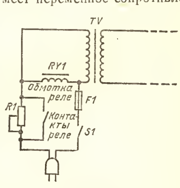


Рис. 5.47

можный выход диодов схемы выпрямления из строя. В приведенной схеме отключение резистора осуществляется автоматически с помощью реле *RY1*.

Обмотка реле соединена параллельно с первичной обмоткой трансформатора. Нормально разомкнутые контакты реле подключены к выводам резистора *R1*. Когда ток в обмотке реле достигает определенного значения, контакты замыкаются и закорачивают резистор *R1*. Реле — это электромеханическое устройство. Если даже подать на его обмотку полное напряжение 115 В, то его контакты сработают (замкнутся) не мгновенно, а с некоторым запаздыванием относительно момента подачи напряжения. Наличие резистора *R1* приводит к замедлению скорости нарастания тока в обмотке реле, что обусловливает увеличение задержки срабатывания реле. В конечном итоге нормально разомкнутые контакты замыкаются, и после этого на первичной обмотке трансформатора и на обмотке реле действует полное напряжение сети. К этому времени конденсатор фильтра схемы выпрямителя, подключенной к вторичной обмотке трансформатора, частично заряжается. Поэтому появление полного напряжения на первичной обмотке не вызывает таких больших выбросов тока в диодах выпрямителя, которые возникли бы при полностью разряженных конденсаторах. После замыкания контактов реле ничто не мешает источнику питания работать нормально и обеспечивать требуемые уровни выходного напряжения и тока. Отключение источника от сети вызывает размыкание контактов реле. Поэтому при очередном включении схемы защиты работает аналогичным образом.

Рассмотренную схему защиты можно применить в любом источнике питания. Но наиболее широко она распространена в устройствах с высокими и средними уровнями выходных напряжений. В процессе создания источника питания, таким образом, должно быть предусмотрено место для установки дополнительных элементов.

Параметры реле *RY1* определяются значением тока в первичной цепи. Контакты реле должны быть способны коммутировать такой же ток, как и однополюсный переключатель *S1*. Практические соображения подсказывают, что номинальное значение тока, который может протекать через контакты реле и переключателя, должно в 1,5 раза превышать ток первичной цепи. Поэтому, если, например, ток первичной цепи равен 6 А, реле следует выбирать на 9 А. Широко распространены реле с номинальным значением то-

ка контактов 10 А, которые хорошо подходят для этой цели.

В схеме использован проволочный резистор с номинальной мощностью 20 Вт и сопротивлением 50 Ом. Эти параметры обеспечивают нормальную работу с источниками питания, имеющими выходную мощность до 1000 Вт, хотя допустимо использовать подобную защитную цепь и в более мощных источниках. В принципе возможно применение резистора с меньшей номинальной мощностью, поскольку в нормальном режиме работы источника он находится в обесточенном состоянии. Если по каким-либо причинам контакты реле останутся разомкнутыми после включения источника в сеть, то резистор *R1* будет действовать как предохранитель. Если в работающем источнике несколько раз перегорал резистор *R1*, то можно попытаться заменить его резистором с большей номинальной мощностью, так как, скорее всего, это происходит за счет превышения его номинальной мощности в переходных режимах первоначального включения. Перегорание *R1* может также свидетельствовать о медленном срабатывании реле *RY1* и необходимости его замены. Увеличение задержки срабатывания реле можно и не заметить, так как оно происходит в течение долей секунды.

Размещение элементов защиты в источнике питания может быть различным. Некоторые предпочтут, установив на шасси монтажную планку, использовать ее для соединения выводов резистора, первичной обмотки трансформатора, реле и подводящих сетевых проводов. Другие, возможно, захотят использовать для этой цели непосредственно выводы контактов реле. При монтаже необходимо следить за правильной установкой переключателя *S1*: при его размыкании сетевое напряжение должно отключаться как от обмотки реле *RY1*, так и от первичной обмотки трансформатора. Если переключатель *S1* установить, например, в цепи верхнего вывода первичной обмотки трансформатора, то сетевое напряжение будет присутствовать на обмотке реле постоянно вне зависимости от положения переключателя. В таком случае переключение *S1* приведет к включению или отключению источника питания, но схема защиты при этом не будет работать, так как контакты реле будут постоянно замкнуты.

После сборки источника питания и схемы защиты необходимо убедиться, что источник работает нормально и обеспечивает требуемые уровни выходного напряжения и тока. Неплохо при включении источника визуально зафиксировать замыкание контактов реле. чтобы удостовериться

в нормальной работе устройства защиты. Если резистор *R1* начнет перегреваться под нагрузкой, то это верный признак неудовлетворительной работы реле: его контакты либо совсем не замкнуты, либо замкнуты, но не полностью. В этом случае реле необходимо заменить. Пониженный уровень выходного напряжения также свидетельствует, что резистор *R1* остался последовательно включенным с первичной обмоткой трансформатора. Проверить это можно, измерив вольтметром переменного тока напряжение на резисторе *R1* при включенном переключателе *S1*. Если напряжение на *R1* отлично от нуля, то контакты реле разомкнуты и реле необходимо заменить. При нормальной работе его контакты после включения замкнуты и поэтому напряжение на сопротивлении *R1* равно нулю.

Использование реле хорошего качества гарантирует работоспособность устройства защиты, если только сам источник питания функционирует нормально. Применение этого устройства в источниках с повышенными уровнями выходных напряжений надежно защитит диоды выпрямителей от токовых перегрузок в режимах первоначального включения и повысит надежность работы источников питания. Если с течением времени эксплуатации источника во время включения будет наблюдаться дребезг контактов реле устройства защиты, то реле необходимо будет заменить. В противном случае непременно сгорит резистор *R1* и источник питания перестанет быть работоспособным.

№ 22. Высоковольтный источник питания

Иногда возникает потребность в источниках питания с высоким уровнем выходного напряжения. Хотя можно спорить о том, какое напряжение можно считать высоким, мы будем считать, что к этой категории относятся напряжения, значения которых превышают 1500 В. Высоковольтные источники питания с выходным напряжением от 1500 до 4000 В используются для питания анодных цепей усилителей радиоколебаний в стационарных радиопередатчиках, хорошо знакомых и любителям, и специалистам. Они представляются сложными устройствами начинающим радиолюбителям. Но теоретически они не более сложны, чем низковольтные источники питания со схемами стабилизации выходного напряжения. В практических схемах высоковольтных источников питания для обеспечения безопасных режимов работы часто применяется последовательное со-

единение компонентов, в частности диодов и конденсаторов.

На рис. 5.48 представлена принципиальная стандартная схема удвоителя напряжения, которая широко используется в высоковольтных источниках и которую мы уже не раз рассматривали. Если действующее значение напряжения на вторичной обмотке трансформатора равно 1000 В, то выходное постоянное напряжение будет в 2,8 раза выше, т. е. 2800 В. Схема кажется очень простой, но прежде чем так подумать, обратите внимание на рис. 5.49, где представлен практический вариант высоковольтного источника. Он выглядит намного сложнее, так как содержит гораздо большее число диодов и конденсаторов, хотя в теоретическом плане обе схемы абсолютно эквивалентны.

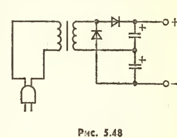


Рис. 5.48

Обратимся снова к рис. 5.48 для того, чтобы определить требования к параметрам компонентов, используемых в схеме удвоителя. Каждый из диодов должен выдерживать обратное напряжение, значение которого в 2,8 раза превосходит действующее напряжение вторичной обмотки. В рассматривавшемся примере это 2800 В. Но применение диодов с таким обратным напряжением в этом источнике недопустимо, так как для обеспечения надежной работы требуется определенный запас прочности. Поэтому даже диоды с обратным напряжением 3000 В здесь не подойдут, а необходимо применение диодов с обратным напряжением около 4000 В.

Диоды с номинальным током 1 А и обратным напряжением свыше 1000 В очень дороги. Так, например, стоимость одного диода с обратным напряжением 4000 В может быть в 40 раз выше стоимости одного диода, имеющего тот же номинальный ток и обратное напряжение 1000 В. Поэтому гораздо практичнее использовать для этой цели четыре последних диода, соединив их последовательно. Конечно, такое последовательное соединение требует включения параллельно с каждым из диодов резисторов и конденсаторов. Резисторы обеспечивают выравнивание напряжений на диодах при их обратном смещении, а конденсаторы устраняют возможные выбросы напряжения на диодах. Так как и резисторы, и конденсаторы являются относительно деше-

выми компонентами, то их применение не приводит к заметному удорожанию всего устройства, хотя и усложняет схему соединений.

Теперь обратимся к конденсаторам фильтра. Поскольку мы рассматривали удвоитель напряжения, то каждый из

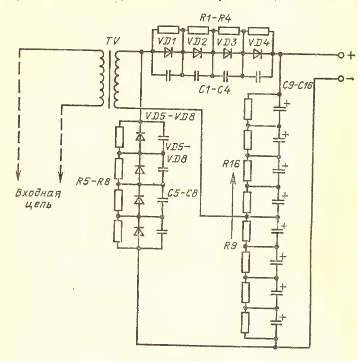


Рис. 5.49

конденсаторов на рис. 5.48 должен иметь рабочее напряжение не ниже, по крайней мере, половины значения выходного напряжения. В нашем примере это 1400 В. Для хорошего сглаживания пульсаций напряжения, необходимого для питания усилителей радиопередатчиков, требуется, чтобы эквивалентная выходная емкость фильтра была не менее 20 мкФ. Поскольку в удвоителе конденсаторы соединены последовательно, то эквивалентная емкость вдвое меньше емкости одного конденсатора при условии, что используются одинаковые конденсаторы. Поэтому каждый из конденсаторов в схеме рис. 5.48 должен иметь рабочее

напряжение не менее 1400 В и емкость 40 мкФ. Высоковольтные конденсаторы, так же как и диоды, — очень дорогие компоненты. К тому же практически не существует электролитических конденсаторов с рабочими напряжениями выше 450 В. Поэтому и здесь целесообразно использовать последовательное соединение.

На рис. 5.49 фильтр состоит из восьми последовательно соединенных конденсаторов, каждый из которых имеет рабочее напряжение 450 В и емкость 200 мкФ. Эквивалентная емкость при этом равна 25 мкФ, а рабочее напряжение 3600 В. Указанное напряжение обеспечивает хороший запас прочности, так как выходное напряжение составляет 2800 В. Кажется, что можно было бы включить последовательно только семь конденсаторов и обеспечить тем самым достаточное значение рабочего напряжения (3150 В). Однако это не так. Здесь следует учесть, что реально существуют две группы, каждая из которых состоит из четырех последовательно соединенных конденсаторов. Обе эти группы должны давать одно и то же эквивалентное значение емкости. Таким образом, исключение конденсатора в одной из групп привело бы к исключению конденсатора и из другой группы, при этом осталось бы шесть конденсаторов, соединенных последовательно. Эквивалентная емкость фильтра возросла бы до 33 мкФ, что само по себе неплохо, но рабочее напряжение последовательного соединения упало бы до 2700 В. Это ниже значения выходного напряжения, и включение источника в сеть привело бы к пробою конденсаторов. Пробой одного из конденсаторов приводит к тому, что возрастает напряжение на всех других конденсаторах в последовательном ряду, что с неизбежностью вызывает пробой еще одного из конденсаторов и т. д. В результате этого возникает короткое замыкание выходной цепи источника, что чревато самыми тяжелыми последствиями.

В практической схеме каждый из последовательно соединенных конденсаторов шунтирован резистором. Резисторы, с одной стороны, обеспечивают выравнивание напряжений на конденсаторах, а с другой стороны, выполняют роль дополнительной нагрузки и гарантируют разряд конденсаторов при отключении источника от сети. Здесь используются проволочные резисторы с сопротивлением 25 кОм и номинальной мощностью 20 Вт. Остальные компоненты схемы имеют следующие параметры: дисковые керамические конденсаторы *C9—C16* — 0,01 мкФ, 1000 В; резисторы *R1—R8* — 470 кОм, 0,5 Вт.

Рассматриваемый пример показывает, как относительно простая схема в высоковольтном источнике питания превращается в достаточно сложную. Если не принимать в расчет экономические соображения, то можно применить всего два диода с обратными напряжениями 4000 В и два конденсатора с рабочими напряжениями 1500 В или выше и емкостями по 40 мкФ. Однако это привело бы к заметному повышению стоимости устройства.

Наиболее дорогим компонентом в рассмотренном источнике питания является трансформатор, действующее значение выходного напряжения которого равно 1000 В. Можно использовать и два телевизионных трансформатора с выходными напряжениями 550 В. Последовательное соединение вторичных обмоток в этом случае позволяет получить напряжение 1100 В, что вполне пригодно для рассмотренного источника питания. На рис. 5.50, *а* показано включе-

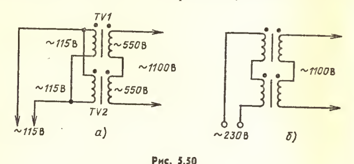


Рис. 5.50

ние двух трансформаторов с использованием сети 115 В: вторичные обмотки соединены последовательно, а первичные — параллельно. В случае применения сети с действующим значением напряжения 230 В и первичные, и вторичные обмотки трансформаторов соединяются последовательно так, как показано на рис. 5.50, *б*.

Просмотр каталогов серийно выпускаемых трансформаторов позволит без труда найти такой трансформатор, у которого напряжение на вторичной обмотке имеет значение около 1000 В. Даже если оно равно 1200 В, можно использовать рассмотренную схему без замены компонентов. Выходное напряжение источника примерно в 2,8 раза выше действующего значения напряжения вторичной обмотки, и использование такого трансформатора даст 3400 В выходного напряжения. Последовательное соединение диодов

в нашей схеме выдерживает обратное напряжение 4000 В, а блок конденсаторов имеет рабочее напряжение 3600 В, так что эти параметры не будут превышены. Однако использование трансформаторов с более высоким выходным напряжением требует непременного увеличения рабочего напряжения блока конденсаторов. Размеры трансформатора зависят от выходной мощности источника и от режима работы устройства, для питания которого он используется. Если режим работы является прерывистым, т. е. чередуются интервалы времени, на которых мощность потребляется от источника с интервалами, когда это не происходит, то можно безопасно увеличить выходную мощность источника по сравнению с номинальной мощностью трансформатора в 1,5—2 раза. Используемые в источнике компоненты дают возможность обеспечить выходной ток 700—800 мА, что соответствует выходной мощности более 2000 Вт.

Достаточно большая выходная мощность источника обусловливает значительные размеры трансформатора. Поэтому трансформатор, а вместе с ним и весь источник питания следует монтировать на прочном металлическом шасси. Сборку следует начинать с установки трансформатора и монтажа описанной выше схемы защиты, без использования которой существует большая вероятность того, что при первоначальном включении источника диоды выйдут из строя. Необходимо тщательно закрепить трансформатор на шасси для того, чтобы случайное его смещение не вызвало повреждений других компонентов.

Выпрямитель целесообразнее всего собрать на отдельной монтажной плате, расположив элементы так, как показано на рис. 5.51. В высоковольтных источниках питания весьма важным фактором становится необходимость обеспечения должной изоляции элементов друг от друга и от корпуса устройства. Так как высокое напряжение присутствует в любой точке выходной части схемы, включая и блок выпрямителей, то следует расположить отдельные элементы таким образом, чтобы предотвратить возможный электрический пробой между их корпусами. Монтажную плату с выпрямителем следует закрепить на шасси при помощи стоек, в качестве которых могут быть использованы болты, предварительно укрепленные на шасси гайками. Просверлив крепежные отверстия в монтажной плате, ее закрепляют такими же гайками на верхней выступающей части болтов, используя для этого восемь гаек (по две на каждое крепежное отверстие). Следует обратить внимание на то,

что размеры монтажной платы должны быть достаточно большими для того, чтобы крепежные болты и гайки находились на достаточно удаленном расстоянии от компонентов, в результате чего обеспечивается надежная изоляция последних от корпуса устройства.

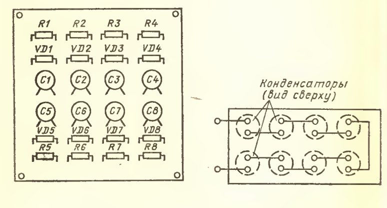


Рис. 5.51

Рис. 5.52

При сборке блока конденсаторов необходимо обеспечить надежную изоляцию корпусов конденсаторов друг от друга и от шасси. Некоторые типы электролитических конденсаторов имеют корпуса с изоляционным покрытием. Следует помнить, что это покрытие может обеспечить надежную изоляцию только при напряжениях, не превышающих рабочие напряжения конденсаторов.

Многие электролитические конденсаторы имеют крепежную головку с винтовой нарезкой. Блок таких конденсаторов можно собрать на прямоугольной плате, выполненной из какого-либо изоляционного материала. Размеры платы определяются количеством и размерами конденсаторов (рис. 5.52). В плате высверливаются отверстия, в которых и закрепляются конденсаторы. Толщина платы должна быть достаточно большой, чтобы обеспечить необходимую прочность крепления. Соединив выводы конденсаторов, следует укрепить собранный блок на шасси источника точно так же, как и блок выпрямителей. Для этого, конечно, необходимо использовать более прочные болты. Можно поступить и иным образом: приклеить эпоксидной смолой к нижней части конденсаторов вторую изоляционную плату, а затем

укрепить ее на шасси с помощью четырех небольших болтов.

Рассмотренная конструкция блока фильтра позволяет очень просто осуществить соединения электродов конденсаторов. К тому же выводы конденсаторов можно использовать для монтажа выравнивающих резисторов, что образует достаточно компактную конструкцию. Соединяя выводы конденсаторов, будьте особенно внимательны и соблюдайте необходимую последовательность соединения: отрицательный электрод предыдущего конденсатора должен объединяться с положительным электродом последующего. Ошибки соединения здесь непременно выведут из строя источник питания.

После установки блока конденсаторов завершение монтажа не вызывает затруднений, так как необходимо осуществить только три проводных соединения: два из них идут от выпрямителя к положительному и отрицательному выводам блока конденсаторов, а средняя точка блока конденсаторов соединяется непосредственно с выводом вторичной обмотки трансформатора. После этого необходимо провести тщательную проверку на соответствие выполненного монтажа с принципиальной схемой источника. Особое внимание следует уделить проверке правильности соединения полярных компонентов, диодов и электролитических конденсаторов. После проверки нужно быть абсолютно уверенным в том, что все соединения выполнены правильно.

Еще раз убедитесь в правильности монтажа схемы на стороне первичной обмотки трансформатора. При номинальной нагрузке источника питания входной ток имеет значение около 20 А. Поэтому все контакты должны быть прочными, а паяные соединения выполнены качественно. Может быть, даже целесообразно избегать паяных соединений в первичной цепи при таких больших значениях тока, а использовать монтажную планку, на которой монтажные лепестки с большой площадью соединяются внакладку с помощью завинчивающихся зажимов. Разумеется, плавкий предохранитель и остальные элементы первичной цепи должны иметь параметры, соответствующие уровню входного тока.

Проверка работоспособности собранного источника питания мало чем отличается от аналогичных проверок других рассмотренных нами устройств. Прежде всего необходимо подключить к выходным зажимам источника вольтметр постоянного тока, способный измерять напряжение не ниже 3000 В. Следует отметить, что хотя многие вольтметры

пригодны для измерения столь высокого напряжения, но очень часто бывает так, что изоляция измерительных проводов вольтметра не рассчитана на высокий уровень напряжения. Поэтому необходимо расположить измерительные провода отдельно друг от друга и таким образом, чтобы не было нужды придерживать их руками. После этого можно включить сетевой переключатель. Вольтметр должен показывать напряжение, в 2,8 раза большее, чем действующее значение напряжения на вторичной обмотке трансформатора. Однако если вы заметите, что плавкий предохранитель начал тускнеть, услышите громкий низкий звук гудящего трансформатора или заметите электрическую искру, то немедленно отключите источник питания от сети и отыщите ошибку в монтаже. Если она сделана в блоке выпрямительных диодов, то существует большая вероятность того, что многие диоды вышли из строя. Электрическая дуга свидетельствует о наличии замыкания компонента, находящегося под высоким потенциалом, с корпусом или с другими компонентами. Необходимо быть очень осторожным при отыскании неисправностей. Прежде чем что-то делать внутри источника питания, закоротите выводы каждого из конденсаторов металлическим жалом отвертки, держа ее за изоляционную рукоятку. Конечно, резисторы, шунтирующие конденсаторы, должны обеспечить их достаточно быстрый разряд. Но возникший отказ способен вызвать перегорание некоторых из резисторов. Даже в том случае, если напряжение на выходе источника равно нулю, не гарантируется полный разряд всех до одного конденсаторов. При соприкосновении с заряженными конденсаторами вряд ли отделаешься легким испугом, можно получить серьезные увечья!

Методика проверки, рассмотренная ранее, применима и в этом случае. Необходимо установить наличие напряжений на первичной и вторичной обмотках трансформатора, затем убедиться в наличии напряжения на выходе выпрямителя и т. д. Однако следует постоянно соблюдать меры предосторожности. Все измерения, осуществляемые с помощью вольтметра, необходимо проводить так, чтобы избежать соприкосновений с измерительными выводами. Для этого целесообразно снабдить измерительные выводы зажимами типа «крокодил». Прежде чем перемещать зажимы вольтметра в другие точки, выключайте источник питания и разряжайте фильтровые конденсаторы с помощью отвертки, имеющей изоляционную рукоятку. Лучше лишний раз перестраховаться.

Работоспособный источник питания следует обязательно поместить в защитный металлический кожух, образующий с шасси единую конструкцию. Оставить высоковольтный источник в открытом виде — акт величайшей небрежности. Если возникнут какие-нибудь неисправности, то снять кожух — минутное дело. Это не слишком высокая плата за безопасность.

Рассмотренный высоковольтный источник пригоден для питания анодных цепей ламп стационарных радиопередатчиков или других устройств, требующих для своей работы напряжений, значения которых лежат в пределах 2500—2800 В. Емкость конденсатора фильтра здесь достаточно велика, чтобы обеспечить неплохие выходные характеристики. Если существует возможность увеличить значения емкостей конденсаторов, то можно улучшить эти характеристики.

№ 23. Еще один высоковольтный источник питания

Представленный выше источник питания обеспечивал выходное напряжение 2800 В. Но многие усилители радиочастотных колебаний требуют более низкого напряжения (2000 В) для питания анодных цепей. Источник подобного типа можно выполнить, использовав вполне доступные элементы. В любом высоковольтном источнике питания самым дорогостоящим компонентом является трансформатор. На рис. 5.53, *а* показана схема источника, где используется последовательное включение как первичных, так и вторичных обмоток широко распространенных трансформаторов. Обратите внимание на то, что первичным источником энергии является сеть переменного тока с действующим значением напряжения 230 В. В первичной цепи источника имеется схема защиты, состоящая из реле *RY1* с нормально разомкнутыми контактами и рабочим напряжением 230 В и резистора *R1* — 100 Ом, 20 Вт. Контакты реле *RY1*, так же как и плавкий предохранитель *F1*, рассчитаны на номинальный ток 15 А.

Каждый из трансформаторов *TV1* и *TV2* предназначен для работы с входным напряжением 115 В и широко используется в черно-белых телевизорах. Большинство таких трансформаторов имеют выходное напряжение, лежащее в пределах 750—800 В. Обмотки могут содержать выводы средних точек. Обычно существует еще несколько вторич-

ных обмоток (на схеме не показаны), предназначенных для питания цепей накала.

Хотя на рис. 5.53, *а* показано последовательное соединение обмоток, но с таким же успехом обмотки можно включить параллельно и использовать для питания сеть переменного тока с напряжением 115 В. В этом случае необхо-

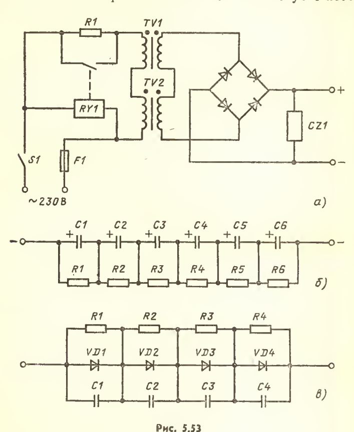


Рис. 5.53

димо выбрать реле, также рассчитанное на напряжение 115 В, уменьшить сопротивление резистора *R1* до 50 Ом и использовать плавкий предохранитель на 20 А.

Авторы создали один из таких источников питания несколько лет назад. Он был предназначен для питания передающих усилителей радиочастотных колебаний с выход-

ной мощностью около 2000 Вт, и в нем использовался самый мощный из существующих телевизионных трансформаторов. Передатчик обычно работал в прерывистом режиме, обеспечивал средний уровень выходной мощности 500 Вт, если учитывать паузы между рабочими состояниями. Трансформаторы в таких условиях заметно нагревались, но источник, исправно функционировавший несколько лет, продолжает нормально работать и в настоящее время. Дело в том, что трансформаторы телевизионных приемников предназначены для непрерывной работы в течение длительного времени. При этой работе кроме вторичных обмоток, изображенных на нашей схеме, задействованы и другие обмотки, в частности накальные. Отсутствие их в рассматриваемой схеме создает дополнительные резервы в использовании трансформатора. Поэтому кратковременное потребление мощности 2000 Вт при наличии промежутков времени, необходимых для охлаждения элементов, здесь вполне допустимо.

При последовательном соединении вторичных обмоток трансформатора действующее значение общего выходного напряжения равно 1600 или 1500 В (в зависимости от значения напряжения одной вторичной обмотки). Это напряжение выпрямляется схемой двухполупериодного мостового выпрямителя, каждое плечо которого представляет собой сложную схему, показанную на рис. 5.53, *в*. Элементы здесь имеют следующие параметры: диоды *VD1 — VD4* — 1000 В, 2 А; резисторы *R1—R4* — 470 Ом, 0,5 Вт; дисковые керамические конденсаторы *C1 — C4* — 0,01 мкФ, 1000 В. Диоды соединены последовательно и шунтированы резисторами, обеспечивающими выравнивание обратных напряжений, и конденсаторами, предотвращающими возникновение импульсных кратковременных перенапряжений.

Выпрямленное напряжение фильтруется блоком конденсаторов, соединение которых показано на рис. 5.53, *б*. Все конденсаторы электролитические, имеют рабочее напряжение 450 В и емкость 100 мкФ. Параллельно с каждым конденсатором включен резистор, имеющий сопротивление 50 кОм и номинальную мощность 12 Вт. Общее рабочее напряжение последовательно соединенных конденсаторов равно 2760 В и емкость 17 мкФ. Если требуется получить более качественное выходное напряжение, то можно использовать конденсаторы, каждый из которых имеет емкость 150 мкФ. Тогда эквивалентная емкость увеличится до 25 мкФ. Резисторы, включенные параллельно с конденсаторами, обеспечивают, как и прежде, выравнивание напря-

жений на конденсаторах и разряд конденсаторов после отключения сетевого напряжения. Значения сопротивлений резисторов могут быть и увеличены при сохранении равенства сопротивлений. При этом следует помнить, что увеличение сопротивлений приведет к увеличению длительности процесса разряда конденсаторов.

При сборке источника потребуется довольно прочное шасси. Трансформаторы следует расположить рядом, но не слишком близко друг к другу, для того чтобы обеспечить свободную циркуляцию воздуха, способствующую облегчению теплового режима трансформаторов. Для этого достаточно расстояние 2—3 см между корпусами трансформаторов. Проследите за тем, чтобы выводы обмоток соединялись в соответствии с принципиальной схемой. Если почему-либо выводы обмоток не обозначены, соедините их последовательно любым образом и измерьте общее выходное напряжение. Если суммарное выходное напряжение будет равно нулю, то достаточно изменить последовательность включения выводов любой одной из обмоток.

Соедините требуемым образом элементы в первичной цепи. Так как этот источник питания достаточно мощный (2000 Вт), то целесообразнее работать от сети 230 В. В этом случае потребляемый ток будет равен примерно 9 А. При работе от сети 115 В потребляемый ток возрастет вдвое, что приведет к увеличению потерь в первичной цепи.

Как и в предыдущем случае, выпрямитель необходимо собрать на отдельной монтажной плате, расположив рядом диоды, резисторы и конденсаторы, соединенные параллельно. Так как здесь используется вдвое большее количество диодов, то по сравнению с рассмотренным ранее высоковольтным источником размер монтажной платы следует увеличить в 2 раза. Убедитесь в том, что вы правильно соединяете каждую из четырех групп, состоящих из четырех последовательно включенных диодов. Соединение должно соответствовать условным обозначениям диодов, представленным на рис. 5.53, *а*. Ошибка в соединении групп элементов или хотя бы одного из диодов в любой из последовательных групп нарушит работоспособность источника. Тщательность выполнения монтажа на этой стадии создания источника поможет избежать затраты значительного времени на отыскание неисправностей в готовом изделии.

Если в источнике использовать электролитические конденсаторы с проволочными выводами, то блок конденсаторов фильтра целесообразно расположить горизонтально на

монтажной плате, как это показано на рис. 5.54. Обратите внимание на то, что отрицательный электрод одного конденсатора соединяется с положительным электродом другого. В результате образуется единый блок, имеющий один положительный и один отрицательный выводы. Конденсаторы можно закрепить на плате с помощью эпоксидного клея или любых других устройств крепления. Для завершения блока фильтра параллельно с каждым конденсатором нужно включить выравнивающий резистор.

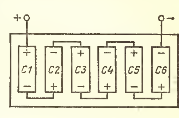


Рис. 5.54

Для установки блоков выпрямителя и фильтра на шасси в углах монтажных плат необходимо просверлить по четыре отверстия и использовать метод крепления, описанный выше. Следует обратить внимание на то, чтобы крепежные болты, имеющие потенциал корпуса источника, находились на достаточном удалении от точек высокого потенциала. Соедините между собой требуемым образом выходные выводы выпрямителя и блока конденсаторов фильтра. После этого объединенные отрицательные выводы выпрямителя и фильтра можно соединить с шасси. Сборка источника завершается установкой подходящих высоковольтных выходных гнезд или клемм.

После тщательной проверки качества монтажа и соответствия монтажных соединений и принципиальной схемы источника можно приступать к проверке работоспособности источника. В нормально работающем источнике питания вольтметр постоянного тока, подключенный к выходным зажимам, должен давать показание около 2200 В. Это значение может быть ближе к 2100 В, если используются трансформаторы с вторичным напряжением 750 В. Значение напряжения сети тоже влияет на показания вольтметра. Мы говорим о сети с действующим значением напряжения 115 или 230 В. Но в некоторых районах значения сетевых напряжений могут быть ближе к 110 или 220 В, а в других могут увеличиться до 120 или 240 В. В соответствии с этим изменяется и уровень выходного напряжения. Часто, правда, эти колебания не имеют существенного значения.

Если источник питания не работает должным образом, то его следует отключить от сети. Затем, прежде чем что-либо

предпринимать, необходимо разрядить фильтровые конденсаторы, закорачивая выводы каждого из них жалом отвертки, держа последнюю за изолированную рукоятку. Если обычная проверка не выявила ошибок в соединениях, то придется проверять источник во включенном состоянии. При этом следует быть очень осторожным, так как даже кратковременное соприкосновение с высоким напряжением способно привести к тяжелым последствиям! Прежде всего нужно убедиться в том, что напряжения на первичных обмотках трансформаторов соответствуют напряжению сети. Для этого следует измерить их значения вольтметром переменного тока. Затем необходимо удостовериться в наличии напряжений на вторичных обмотках, воспользовавшись вольтметром переменного тока с максимальным показанием шкалы не менее 2000 В. При этих измерениях не следует полагаться на надежность изоляции измерительных выводов вольтметра, способных защитить вас от высокого напряжения. Из предосторожности перед каждым перемещением выводов вольтметра в новое место следует выключить источник питания и разрядить конденсаторы фильтра. Если напряжение на вторичных обмотках находится в заданных пределах, то необходимо временно отключить блок конденсаторов и вольтметром постоянного тока измерить выходное напряжение выпрямителя. В случае нормальной работы последнего вольтметр будет показывать колеблющееся напряжение, имеющее значение около 1500—1000 В. При отсутствии этого напряжения ошибка соединений находится в схеме выпрямителя. Вероятнее всего, эта ошибка обусловлена тем, что перепутана полярность включения диодов в блоках выпрямителя. Наличие выходного напряжения выпрямителя свидетельствует, что ошибка или неисправность кроется в блоке конденсаторов.

В случае перегорания плавкого предохранителя при включении источника, сопровождаемого характерным низким звуком, издаваемым трансформаторами, можно утверждать, что в монтаже есть грубые ошибки. Заменив предохранитель, не пытайтесь вновь включить источник в сеть до тех пор, пока не будет найдена неисправность. В противном случае может произойти полное повреждение компонентов источника.

Как и в любом случае использования высоковольтных устройств, источник питания следует установить в защитный алюминиевый корпус, предотвращающий возможность контакта с его элементами. Доступ к ним должен быть воз-

можен только после снятия корпуса. После этого необходимо убедиться, что конденсаторы фильтра полностью разряжаются и выходное напряжение падает до нуля за сравнительно короткий промежуток времени. Если этого не происходит, то возможна неисправность в цепях резисторов, шунтирующих конденсаторы фильтра. Эта неисправность должна быть обязательно устранена, прежде чем источник будет использован по назначению.

Мы уже говорили о том, что трансформаторы черно-белых телевизионных приемников, которые использовались в рассмотренном источнике питания, позволяют увеличить выходную мощность, если питаемое устройство работает в старт-стопном режиме. Если необходимо получить бо́льшую мощность в непрерывном режиме работы, то в корпусе источника можно установить вентилятор, обеспечивающий охлаждение трансформаторов, при этом для обеспечения хорошей циркуляции воздуха в корпусе следует просверлить ряд отверстий. Диаметр отверстий должен быть достаточно малым, чтобы предотвратить возможность случайного контакта с элементами источника питания, находящимися внутри корпуса. Применение вентилятора позволит увеличить выходную мощность на 10—20 % без превышения максимально допустимой рабочей температуры трансформаторов. Резкое уменьшение выходного напряжения с ростом тока нагрузки свидетельствует о превышении нагрузочной способности трансформаторов.

Здесь, по-видимому, целесообразно подробнее остановиться на трансформаторах, используемых в рассмотренных высоковольтных источниках. Поскольку черно-белые телевизионные приемники становятся все менее распространенными, то могут возникнуть трудности в приобретении нужного трансформатора. А использование двух трансформаторов вместо одного оправдано только в том случае, если они извлечены из какого-нибудь старого устройства. Может быть, при отсутствии старого черно-белого телевизора вы обнаружите большое количество неисправных цветных телеприемников хотя бы в местном пункте приема старых телевизоров. Большинство этих устройств идет под пресс, хотя они могут содержать исправные компоненты, в частности трансформаторы. Некоторые из трансформаторов вполне могут подойти по своим параметрам для высоковольтных источников. Перед использованием подобных трансформаторов следует провести их тщательную проверку, чтобы определить уровни вторичных напряжений, в которые

преобразуется напряжение сети. Если не найдете нужного трансформатора или двух трансформаторов, как в последнем высоковольтном источнике, то не отчаивайтесь и поступайте в соответствии со здравым смыслом. Например, напряжение 800 В можно получить, включив предварительно вторичные обмотки четырех трансформаторов, каждый из которых вырабатывает напряжение 200 В. Для построения второго из рассмотренных высоковольтных источников питания, имеющего вторичное напряжение 1600 В, потребовалось бы восемь таких трансформаторов. Это, конечно же, заметно увеличило бы габаритные размеры источника питания, хотя использование четырех трансформаторов было бы приемлемо. Поэтому следует включить последовательно вторичные обмотки четырех трансформаторов, но вместо схемы мостового выпрямителя применить удвоитель напряжения с емкостным фильтром. Выходное напряжение последнего в 2,8 раза превышает действующее значение переменного входного напряжения, что в нашем случае дало бы примерно 2200 В выходного постоянного напряжения. В рассмотренной схеме двухполупериодный выпрямитель с емкостным фильтром вырабатывал напряжение, в 1,4 раза большее, чем действующее значение входного напряжения, и использовалось последовательное соединение вторичных обмоток двух трансформаторов. Однако ничто не может помешать применить параллельное включение вторичных обмоток в целях увеличения выходной мощности источника питания, а вместо двухполупериодного выпрямителя использовать схему удвоителя, обеспечивающего получение того же выходного напряжения. Наша цель — познакомить читателей с различными способами построения источников питания. В большинстве случаев заданные значения выходных напряжений и токов могут быть получены с использованием разнообразных схемотехнических решений.

№ 24. Преобразователь постоянного напряжения в постоянное

Источники питания, в которых применяются преобразователи постоянного напряжения в постоянное, как это следует из названия, выполняют функции преобразования одного уровня постоянного напряжения в другой. Они очень широко распространены в устройствах электропитания автономной электронной аппаратуры, расположенной на различных подвижных объектах. Источником первичного пи-

тания здесь, как правило, служит аккумуляторная батарея, значение напряжения которой может изменяться в пределах 12—14 В. Источники питания с низким входным постоянным напряжением используются в различных автомобильных устройствах, в частности в радиопередатчиках, громкоговорящих устройствах и т. п. Выполненные с применением электронных ламп подобные устройства требуют средних и высоких уровней питающего напряжения.

Мы уже не раз отмечали, что трансформаторы являются устройствами переменного тока. Если обмотку трансформатора подключить к источнику постоянного напряжения, то в обмотке потечет большой постоянный ток и она непременно перегорит. Преобразователи постоянного напряжения в постоянное работают несколько иначе, чем рассмотренные ранее источники питания, хотя и содержат трансформаторы. В них постоянное входное напряжение преобразуется с помощью электронных ключей в переменное напряжение, действующее на обмотках трансформатора. После такого преобразования переменное напряжение, возникающее на вторичных обмотках, обычным образом выпрямляется и фильтруется для получения постоянного выходного напряжения.

На рис. 5.55 показана схема простого преобразователя, работающего от первичного источника постоянного напряжения 12 В и обеспечивающего два уровня постоянного выходного напряжения: значение одного равно 650 В, а второго — вдвое меньше. Такие уровни напряжений необхо-

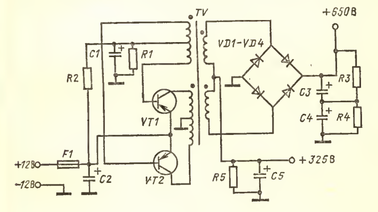


Рис. 5.55

димы для работы различных приемопередающих устройств с электронными лампами. Максимальный ток каждого выходного канала составляет примерно 225 мА.

Основой преобразователя являются специальный трансформатор *TV* и транзисторы *VT1* и *VT2*. Первичная обмотка, связанная с коллекторными выводами транзисторов, состоит из двух одинаковых полуобмоток. С базами транзисторов соединены выводы полуобмоток положительной обратной связи. Подобное соединение обеспечивает поочередное включение и выключение транзисторов *VT1* и *VT2*. Если включен один транзистор, например *VT1*, то напряжение на обмотках трансформатора, оставаясь постоянным, имеет одну полярность, при этом второй транзистор *VT2* находится в непроводящем состоянии. Выключение транзистора *VT1* происходит за счет внутренних процессов, протекающих в схеме, и вызывает автоматическое включение транзистора *VT2*. Таким образом, состояние транзисторов изменяется на противоположное, и происходит смена полярности напряжений на всех обмотках трансформатора. Во время включенного состояния транзистора *VT2* значения напряжений на обмотках трансформатора, так же как и на первом этапе работы, остаются постоянными, но полярность напряжений изменяется. На обмотках трансформатора в результате поочередного переключения транзисторов возникают напряжения прямоугольной формы, имеющие постоянную амплитуду и чередующуюся полярность. Это позволяет трансформатору работать почти так же, как и сетевым трансформаторам с синусоидальной формой переменного напряжения. Но в отличие от сетевого напряжения, изменяющегося с частотой 60 Гц (60 полных циклов в секунду), частота смены полярности напряжений в преобразователе или частота переключения превышает 1000 Гц. Увеличение частоты позволяет существенно уменьшить размеры трансформаторов, выполняемых на сердечниках из специальных магнитных материалов, при сохранении уровня передаваемой мощности. Рассматриваемый преобразователь имеет массу всего несколько килограмм и рассчитан на выходную мощность примерно 200 Вт. В схеме использованы компоненты следующих типов: конденсаторы *C1*, *C2* — 10 мкФ, 25 В; конденсаторы *C3* — *C5* — 100 мкФ, 450 В; диоды *VD1*, *VD4* — 1000 В, 1 А; транзисторы *VT1*, *VT2* — ECG105 (SYLVANIA); резисторы *R3*, *R4* — 25 кОм, 5 Вт; резистор *R5* — 50 кОм, 5 Вт; трансформатор — TPYAD TY84. Из представленного списка следует, что во вторич-

ной цепи применяются те же компоненты, что и в сетевых источниках питания, но входная цепь радикально отличается.

Как и все другие источники питания, которые мы с вами рассмотрели, преобразователь целесообразно собрать в отдельном корпусе, использовав для установки отдельных компонентов алюминиевое шасси. Во время работы через транзисторы преобразователя протекает ток, значение которого близко к 20 А. Поэтому необходимо применение теплоотводящих радиаторов, и лучше всего для этой цели использовать промышленные образцы радиаторов, так как последние наиболее эффективны. Для установки транзисторов на радиаторы используйте крепежную фурнитуру, которая, как правило, поставляется изготовителями приборов вместе с транзисторами. Между корпусом транзистора и радиатором необходимо разместить изолирующую прокладку, а соприкасающиеся поверхности смазать специальной теплоотводящей пастой. После установки на радиаторе к электродам транзистора следует подвести и запаять соединительные провода, после чего можно приступать к следующей стадии сборки преобразователя.

Прежде всего необходимо смонтировать трансформатор, выпрямитель и фильтр. Так как трансформатор имеет две вторичные обмотки, которые соединяются последовательно, то обязательно нужно определить одноименные выводы обмоток и объединить их в соответствии с приведенной принципиальной схемой. Затем к выводам вторичной обмотки следует подключить схему выпрямителя. В целях экономии места целесообразнее всего использовать интегральный выпрямитель, смонтировав его отдельно на небольшой плате. Источник питания обеспечивает два выходных канала. Эквивалентная емкость фильтра канала с большим уровнем выходного напряжения образована последовательным соединением конденсаторов *C3*, *C4* и равна 50 мкФ, так как каждый из конденсаторов имеет емкость 100 мкФ. Конденсатор *C5* с такой же емкостью является фильтром второго канала. Обратите внимание, что каждый из конденсаторов шунтирован резистором, что обеспечивает разряд конденсаторов после выключения преобразователя.

После сборки компонентов выходной части преобразователя приступайте к соединениям элементов входной цепи. Здесь следует, прежде всего, разобраться с выводами первичной обмотки трансформатора и обмотки обратной связи. Как правило, необходимая информация всегда имеется

в справочниках или на этикетках, которыми снабжены трансформаторы. Средний вывод первичной обмотки должен быть заземлен, а два других вывода обмотки необходимо соединить с коллекторными выводами транзисторов. К базовым электродам транзисторов необходимо подключить внешние выводы обмотки обратной связи. Обратите внимание на то, что к коллектору и базе каждого из трансформаторов подсоединены разноименные выводы соответственно первичной обмотки и обмотки обратной связи. Например, с коллектором транзистора *VT1* связано начало первичной обмотки, обозначенное точкой, в то время как к базе этого же транзистора подключен конец обмотки обратной связи. Соблюдение этого условия совершенно обязательно, иначе преобразователь не будет работать. Поскольку в базовых цепях транзисторов протекают сравнительно небольшие токи, то к соединениям этих цепей не предъявляется каких-то особых требований. Но в коллекторных и эмиттерных цепях значения токов достигают почти 20 А, и здесь для соединений требуется использовать достаточно мощные проводники. Следует принять за правило, что монтаж подобных цепей необходимо проводить, используя по возможности более короткие многожильные провода, способные проводить большой ток и обладающие малым сопротивлением. В противном случае падения напряжений на монтажных проводниках будут настолько большими, что нарушится работоспособность преобразователя.

Плавкий предохранитель *F1*, рассчитанный на ток 25 А, выполняет обычные защитные функции. Конденсатор *C2* играет роль входного фильтра и уменьшает пульсации входного напряжения преобразователя в тех случаях, когда от этого же первичного источника питаются другие, достаточно мощные потребители энергии. В приведенной схеме отсутствует сетевой выключатель. Поскольку потребляемый от первичного источника ток имеет большое значение, то следовало бы установить переключатель, рассчитанный на больший номинальный ток. Подобные переключатели слишком громоздки для этого компактного преобразователя. Вероятно, лучше всего для целей включения и выключения преобразователя использовать здесь реле постоянного тока, работающее при напряжении 12 В и имеющее контакты, способные коммутировать ток 25 А.

Для проверки работоспособности преобразователя необходимо подключить его к источнику входного напряжения

и убедиться в том, что он поставляет энергию в нагрузку. Работающий преобразователь издает достаточно сильный звенящий звук, обусловленный переключением транзисторов. Если звук не слышен, то отключите преобразователь и перепроверьте соединения в первичной цепи, так как, скорее всего, ошибка в соединениях допущена именно здесь. Хочется верить, что визуальный осмотр монтажа перед включением преобразователя выявит все ошибки, так как в противном случае транзисторы могут быстро выйти из строя.

Нормально работающий преобразователь должен обеспечивать выходное напряжение 650 В в одном канале и 325 В в другом. Причиной заметно более низких уровней выходных напряжений может быть использование слишком слаботочных проводников при монтаже соединений первичной цепи. Поскольку входное напряжение преобразователя мало, то ток, потребляемый от источника входного напряжения, существенно больше, чем в источниках питания, работающих от сети переменного тока. Если падение напряжения 3 В пренебрежимо мало по сравнению с напряжением 115 В, то при напряжении питания 12 В оно составляет 25 % значения последнего. В сети переменного тока с напряжением 115 В такое же относительное изменение было бы эквивалентно отклонению напряжения сети от номинального значения на 30 В. Даже падение входного напряжения в 1 В вызовет в преобразователе относительное уменьшение выходного напряжения почти на 10 %. Эти примеры убеждают в необходимости тщательного выполнения монтажа первичной цепи при помощи возможно коротких многожильных проводников. При токе 20 А наличие сопротивления всего 0,5 Ом сведет на нет входное напряжение.

Собранный источник питания можно разместить, например, в своем автомобиле. Необходимо при этом помнить, что даже при нормальной работе и наличии промышленных ребристых радиаторов транзисторы преобразователя будут заметно нагреваться. Поэтому целесообразно расположить преобразователь в месте, достаточно удаленном от канала подачи теплого воздуха автомобильным обогревателем.

К конструкции и компонентам устройств электропитания, подобных рассматриваемому, могут быть предъявлены некоторые дополнительные требования. Так, например, в отличие от источников питания стационарного типа здесь, возможно, целесообразно сделать влагонепроницаемый

корпус. В зимние месяцы преобразователь, смонтированный в автомобиле, может остывать до отрицательных температур, а затем при включении вновь нагреваться. Все это накладывает определенные требования, предъявляемые к компонентам. Мы не рекомендуем работать с полностью нагруженным преобразователем в холодное время года до тех пор, пока он не прогреется в течение некоторого времени, будучи подключенным к входному источнику питания.

Следует опасаться хотя бы кратковременных перегрузок преобразователя, которые могут происходить не намеренно. Если вы случайно увеличите выходной ток на 50 мА, то ток, протекающий через каждый из транзисторов во включенном состоянии, увеличится почти на 3 А. Если перегруженный трансформатор, обладающий значительной тепловой инерцией, прежде чем выйти из строя, заметно нагреется, задымит и будет продолжать работать так некоторое время, то перегрузка транзистора способна вывести из строя почти мгновенно и нет никаких предупредительных признаков этой перегрузки.

№ 25. Инвертор напряжения

Инвертор относится к источникам электропитания, предназначенным для преобразования постоянного входного напряжения в переменное, которое используется для питания тех или иных устройств. Уместно рассмотреть устройство инвертора именно сейчас, так как только что описанный нами преобразователь постоянного напряжения в постоянное содержал инвертор напряжения как составную часть. В самом деле, в преобразователе постоянное входное напряжение, питающее первичную цепь, преобразуется с помощью транзисторных ключей в переменное напряжение, действующее на обмотках трансформатора. Наводимое на вторичных обмотках трансформатора переменное напряжение прямоугольной формы затем выпрямляется и фильтруется для получения постоянного выходного напряжения. Если исключить из схемы выпрямитель и фильтр, то получим в чистом виде преобразователь постоянного напряжения в переменное, т. е. инвертор. Инвертор здесь обеспечивал бы переменное выходное напряжение прямоугольной формы, снимаемое с вторичных обмоток трансформатора и имеющее амплитуду 650 В. Очень распространены инверторы, у которых выходное напряжение имеет такой же уровень, что и промышленная сеть переменного

тока, а входное напряжение лежит в пределах 12—14 В, т. е. входным источником энергии может служить, например, автомобильный аккумулятор. Инверторы, как уже говорилось, используются для питания устройств переменного тока в тех случаях, когда первичный источник является источником постоянного тока.

Несколько десятилетий тому назад в качестве ключевых элементов преобразователей и инверторов применялись электромеханические вибраторы, работающие с частотой 60 Гц. В настоящее время они полностью вытеснены электронными ключами, выполненными с использованием различных полупроводниковых приборов, в частности биполярных транзисторов. Они обладают большей эффективностью и быстродействием, что позволяет повысить частоты переключения до десятков и даже сотен килогерц. Рассмотренный выше преобразователь постоянного напряжения в постоянное работал на частоте, заметно превышающей частоту промышленной сети переменного тока. Увеличение частоты позволяет уменьшить габаритные размеры трансформаторов и фильтрующих компонентов, что приводит к снижению массогабаритных показателей источников питания.

Однако инверторы, предназначенные для питания устройств переменного тока, работающих также от промышленной сети, должны вырабатывать переменное напряжение, изменяющееся с частотой 60 Гц. Поэтому трансформаторы таких инверторов очень напоминают по своим размерам и устройству обычные сетевые трансформаторы, а их сердечники выполняются из электротехнической стали. Обратите внимание, что трансформатор инвертора должен воспринимать на первичной обмотке напряжение 12 В и преобразовывать его в выходное переменное напряжение, имеющее уровень 115 В, т. е. он должен иметь почти такие же параметры, как и обычный трансформатор для питания цепей накала. Но, кроме всего прочего, трансформатор инвертора должен быть устроен таким образом, чтобы можно было создать схему, обеспечивающую автоматическое переключение ключевых элементов.

На рис. 5.56 представлена схема инвертора. Здесь использованы следующие компоненты: конденсаторы *C1*, *C2*— 2,5 мкФ, 50 В; резисторы *R1*, *R2* — 220 Ом, 25 Вт; транзисторы *VT1*, *VT2* — ECG105 (SYLVANIA); реле *RY1* — 12 В (контакт — 25 А); трансформатор *TV* — TRIAD TY 75A. Схема очень напоминает схему рассмотренного выше преобразователя, но на вторичной стороне нет никаких допол-

нительных компонентов, так как напряжение на вторичной обмотке используется непосредственно для питания устройств переменного тока. Единственным необычным компонентом является трансформатор TY 75A, обеспечивающий выходную мощность 100 Вт. При кратковременной нагрузке

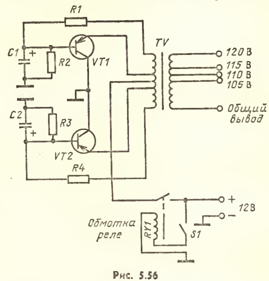


Рис. 5.56

можно получить на выходе мощность 150 Вт, но при длительной работе следует соблюдать вышеназванное ограничение.

Сборка инвертора на шасси среднего размера очень проста. Прежде всего, необходимо закрепить транзисторы в радиаторах, использовав непременно изолирующую прокладку и обильно смазав соприкасающиеся поверхности теплопроводящей пастой для предотвращения возможного перегрева транзисторов. Перед установкой радиатора на шасси сделайте выводы от электродов транзистора, не забывая, что для выводов коллектора и эмиттера следует использовать многожильный сильноточный провод. После установки радиатора выводы эмиттеров транзисторов соедините с требуемыми выводами трансформатора, а коллекторные выводы объедините и подключите к шасси, служащему «землей» источника питания. После этого запаяйте элементы базовых цепей транзисторов, соблюдая необходимую полярность включения конденсаторов *C1* и *C2*, так как ошибка здесь

вызовет нарушение работоспособности инвертора. В первичной цепи имеется всего шесть компонентов, исключая транзисторы, поэтому ошибок в монтаже, по-видимому, не возникнет. Завершается монтаж тем, что вывод средней точки трансформатора соединяется коротким мощным проводом с одним из нормально разомкнутых контактом реле *PY1*, а второй контакт непосредственно подключается к положительному полюсу источника входного напряжения. Обмотка реле *PY1* подключается к входному источнику с помощью переключателя *S1*, рассчитанного на ток 1 А. Если не использовать реле, то можно установить обычный однополюсный выключатель с номинальным током 25 А. В схеме нет предохранителя, хотя его очень просто установить либо непосредственно в инверторе, либо в линии входного источника питания. Но поскольку потребляемый от входного источника ток имеет достаточно большое значение, то многие предпочитают подключать инвертор непосредственно к входным шинам.

Перед включением инвертора лучше лишний раз убедиться в правильности монтажа, так как возможная ошибка может привести к необратимому разрушению транзисторов. Обратите внимание, что вторичная обмотка трансформатора имеет несколько выводов. Это позволяет выбрать тот уровень выходного напряжения, который лучше всего подходит для питания какого-то конкретного устройства. Наличие дополнительных отводов позволяет также скорректировать значение выходного напряжения при изменениях входного. Если, например, вследствие потерь в первичной цепи напряжение на выводе, обозначенном «115 В», будет ближе к 110 В, то, воспользовавшись выводом «120 В», можно получить требуемое значение напряжения 115 В. В работающем автомобиле значение напряжения аккумулятора ближе к 14 В, чем к 12 В. Тогда на выходе «115 В» может быть напряжение 120 В или выше. Если использовать выводы, обозначенные как «110 В» или «105 В», то снова можно получить необходимые 115 В. Все это может показаться вам несколько странным, но следует помнить, что указанные на выводах значения выходных напряжений имеют место только при вполне определенном значении входного напряжения. Далее, можно обнаружить, что некоторые устройства лучше работают, например, при выходном напряжении 120 В, чем при напряжении 115 В, хотя, может быть, это различие и не очень существенно. Учитывая, что максимальное значение выходного тока здесь равно

1,5 А, было бы целесообразно использовать в инверторе соответствующий четырехпозиционный переключатель, позволяющий вручную выбирать требуемый уровень выходного напряжения. Можно даже снабдить инвертор вольтметром, чтобы контролировать выходное напряжение. Здесь следует использовать переключатель, рассчитанный на номинальный ток не менее 2 А. Не следует осуществлять переключения в работающем инверторе, так как это может вызвать его повреждение.

Как и во всех предыдущих случаях, перед проверкой работоспособности инвертора следует внимательно обследовать монтажные соединения в целях обнаружения возможных ошибок. Для первоначальной проверки лучше включить во входную цепь предохранитель, а измерительные выводы вольтметра переменного тока подсоединить между общим выводом вторичной обмотки трансформатора и одним из верхних выводов. В качестве нагрузки можно использовать лампу накаливания мощностью 25 Вт. После включения переключателя *S1* должен произойти щелчок, обусловленный замыканием контактов реле *RY1*, а вольтметр должен показать значение, близкое к 115 В. Если выходное напряжение равно нулю, отключите инвертор от входного источника и еще раз внимательно проверьте правильность соединений. В случае отсутствия видимых ошибок проверьте с помощью вольтметра постоянного тока наличие в цепи входного напряжения после замыкания переключателя *S1*. Отсутствие выходного напряжения при наличии входного свидетельствует о возможных дефектах транзистора (или транзисторов) или ошибки в соединениях базовой цепи (или цепей). Убедитесь в правильной полярности подключения конденсаторов *C1* и *C2*, проверьте целостность транзисторов, используя для этой цели соответствующий прибор. Если транзисторы вышли из строя, то перед установкой новых транзисторов следует выяснить причину этого.

При правильном монтаже и использовании исправных компонентов инвертор будет нормально работать после первого же включения. Теперь его можно использовать для питания различных устройств переменного тока. Для обеспечения нормальной эксплуатации источника и питаемого им оборудования следует придерживаться определенных правил. Одно из них состоит в том, что инвертор не следует подключать к источнику входного напряжения до тех пор, пока к его выходным выводам не подключена нагрузка. Если, например, этой нагрузкой является радиоприемник, то

сначала необходимо соединить шнур питания приемника с выходом инвертора, затем включить тумблер питания приемника и только после этого включить инвертор. Выключение должно осуществляться в обратном порядке.

Мы уже говорили, что инвертор предназначен для питания устройств, работающих на переменном токе. Но не любое оборудование, требующее переменного тока, способно работать с инвертором. К такому оборудованию относятся, в первую очередь, мощные устройства, потребляющие мощность свыше 100 Вт, превышающую нагрузочную способность инвертора. Различные электродвигатели требуют значительных пусковых токов в момент включения, которые заметно превышают потребление в установившемся режиме работы. Наличие пусковых токов может вывести транзисторы инвертора из строя. Поэтому нагрузку подобного типа здесь применять нельзя. Почти любой из электродвигателей переменного тока не будет нормально работать с инвертором независимо от значений пускового тока. Дело в том, что для питания таких двигателей требуется переменное напряжение, имеющее синусоидальную форму, а инвертор генерирует прямоугольное переменное напряжение. Затруднительно также питание от инвертора различных акустических систем, так как импульсные помехи, обусловленные переключением транзисторов инвертора, вызывают неприятный звуковой фон. Здесь требуется применение сложных входных фильтров.

Но почти любой вид электронного оборудования, имеющего сетевой трансформатор в своем источнике питания, способен работать с инвертором напряжения, если только потребляемая им мощность не превышает номинальной мощности инвертора. Вспомните, что преобразователь постоянного напряжения в постоянное, приведенный в предыдущем параграфе, содержит как основную составную часть инвертор напряжения. Нет никаких препятствий к тому, чтобы любой из многообразных источников питания, рассмотренных в этой главе, получал энергию от инвертора. Может быть, исключение составляют только высоковольтные источники питания, использование которых привело бы к чрезвычайно большим токам, потребляемым от источника постоянного входного напряжения. При подключении к выходу инвертора источника питания, использующего энергию переменного тока, образуется сложный источник питания с тройным преобразованием электрической энергии. Вначале постоянное напряжение входного источника

постоянного напряжения преобразуется в переменное прямоугольное напряжение, действующее на выходной обмотке трансформатора инвертора. Трансформатор источника питания преобразует уровень входного переменного напряжения, являющегося выходным напряжением инвертора. Выпрямитель и фильтр, подключенные к вторичной обмотке трансформатора источника питания, вновь преобразуют переменное напряжение в постоянное. Отличие от рассмотренного выше преобразователя постоянного напряжения в постоянное состоит только в наличии еще одного трансформатора в источнике питания, подключенного к выходу инвертора. Разумеется, подобное тройное преобразование не является эффективным. Поэтому в практических случаях целесообразно использовать только один трансформатор инвертора, подключая к вторичным обмоткам схему выпрямления.

Для придания инвертору большей универсальности, как мы уже говорили, следует снабдить его четырехпозиционным переключателем так, как это изображено на рис. 5.57.

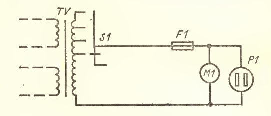


Рис. 5.57

При этом появляется возможность выбрать отвод с нужным значением выходного напряжения. На выходе целесообразно использовать стандартную сетевую розетку, устанавливаемую вблизи трансформатора на корпусе шасси. Предохранитель *F1* предназначен для защиты инвертора от перегрузок. Наконец, измерительный прибор *M1* помогает установить нужный уровень выходного напряжения. Здесь следует напомнить, что изменять положение переключателя *S1* можно только в обесточенном состоянии инвертора.

№ 26. Источник питания, использующий энергию радиоизлучений

Рассмотренный ниже простой и довольно необычный источник питания может оказаться непригодным для большинства читателей. Но тем не менее описание его работы представляет определенный интерес. Подобные схемы используются давно. Их часто называют «ворами электричества» или радиоэлектричества или другими подобными именами, которые, грубо говоря, отражают принцип их действия.

Многие из нас не задумываются, что мы живем в океане радиоволн, которые постоянно обрушиваются на нас в виде передач различных радиостанций. Ваш радиоприемник способен работать только потому, что он воспринимает энергию радиоволн из окружающего пространства и преобразует ее в энергию звуковых колебаний. Интенсивность радиосигналов можно измерить с помощью специальных измерительных устройств.

Можно попытаться использовать частично энергию радиоизлучений в качестве первичного источника энергии для стандартного источника электропитания. Схема такого устройства, показанная на рис. 5.58, очень напоминает простейший кристаллический радиоприемник, так как, исключив фильтровые конденсаторы и подключив наушник между выходным зажимом и землей, можно услышать передачу ближайшей радиостанции.

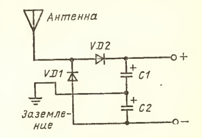


Рис. 5.58

Внимательно рассмотрев схему, вы узнаете двухполупериодный умножитель напряжения. Точно так же можно использовать любую из выпрямительных схем, но удвоитель обеспечивает более высокий уровень выходного напряжения. Обычно входное переменное напряжение подается на выпрямитель с вторичной обмотки трансформатора, роль которой здесь играет приемная антенна. Передающая антенна радиостанции как бы выполняет функции первичной обмотки трансформатора. Энергия радиоколебаний, являющихся одной из форм переменного тока, восприннма-

ется приемной антенной. Наведенное переменное напряжение поступает на вход удвоителя, состоящего из двух диодов и двух конденсаторов. Здесь использованы диоды с номинальным током 1 А и обратным напряжением 50 В, а каждый конденсатор имеет емкость 500 мкФ и рабочее напряжение 16 В. Можно использовать практически любые компоненты, применяя идентичные конденсаторы.

Заземление в схеме можно сделать, вбив металлический стержень в почву или прикрепив его к металлической водопроводной трубе. Наведенное на антенне напряжение выпрямляется диодами и удваивается с помощью конденсаторов. Выходное напряжение в 2,8 раза больше действующего значения наведенного напряжения.

Источник можно собрать на небольшой монтажной плате, и нет необходимости помещать ее в специальный корпус. Следует просто установить на плате выходные зажимы, а также зажимы для соединения с антенной и осуществления заземления. Роль воспринимающей антенны может выполнять проводник, длина которого должна быть не меньше 1/4 несущей длины волны передающей радиостанции. Если эта рядом расположенная радиостанция передает амплитудно-модулированный радиосигнал, то наилучшие результаты можно получить с антенной, имеющей длину около 70 м. Для закрепления одного из концов такого длинного провода можно использовать дерево, находящееся на подходящем расстоянии от вашего дома. Антенна должна быть растянута на возможно большей высоте. По-видимому, большинство читателей не сможет этого сделать, но не следует отчаиваться. Если рядом расположена работающая радиостанция, то любой достаточно длинный провод будет работать как антенна. Следует только расположить его возможно выше над землей и сделать хорошее заземление. Но не ожидайте сколь-нибудь значительных результатов, если вблизи вашего жилища нет работающей радиостанции. Напряжение, наводимое в точках приема, измеряется микровольтами (1/1 000 000 В). Даже при использовании удвоителя не приходится говорить о заметном напряжении.

Рассмотренная схема может быть полезна для читателей, живущих неподалеку от мощных передающих радиостанций. Авторы проверяли работу схемы на расстоянии около 35 м от радиобашни и получили выходное постоянное напряжение в несколько вольт. Однако это значение очень быстро убывает при увеличении расстояния от радиопередатчика.

Единственный путь определения работоспособности источника состоит в измерении выходного напряжения, которое следует производить, используя чувствительный вольтметр постоянного тока. Измерения удадутся, если вольтметр способен измерять тысячные доли вольта. Поскольку это устройство не требует никакого входного источника, то его можно испытать, подъехав на автомобиле как можно ближе к работающей радиостанции. Зафиксируйте где-либо провод антенны, а зажим заземления соедините с корпусом автомобиля. Подключенный к выходу вольтметр тотчас же должен дать некоторые показания.

Лучших результатов можно добиться, если использовать во входной цепи резонансный контур, настраиваемый на частоту передающей радиостанции. Такое устройство показано на рис. 5.59 и состоит из антенны, намотанной на ферритовом стержне *L1*, и подстроечного конденсатора *C1*. Устройство будет хорошо работать при приемке амплитудно-модулированного сигнала стандартных радиостанций. Компоненты контура продаются свободно в магазинах радиотоваров. Можно их обнаружить и в старых карманных приемниках. Один вывод катушки, намотанной на сердечнике, соединяется с землей, а второй — с точкой соединения двух диодов удвоителя напряжения. Подстроечный конденсатор подключен параллельно с антенной и имеет емкость 365 пФ. Оптимальной настройке антенны на волну передающей радиостанции соответствует максимальное показание вольтметра, подключенного к выходу источника. Другой метод настройки использует подключение наушников к выходу при временном отключении конденсаторов. Тогда оптимальной настройке будет соответствовать максимальный звук в наушниках.

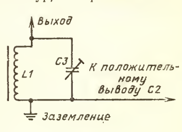


Рис. 5.59

Конечно, использование подобного источника для питания каких-либо электронных схем крайне непрактично, да и невозможно в большинстве случаев. Но он рассмотрен здесь просто ввиду своей необычности и может показаться некоторым читателям интересным. Для читателей, живущих в зоне неуверенного приема, заниматься таким источником — пустая трата времени. Но, если убрать из схемы

диод *VD1* и конденсаторы *C1* и *C2*, а во входной цепи использовать ферритовую антенну и подстроечный конденсатор, то можно получить простой приемник амплитудно-модулированных радиосигналов местной радиостанции.

№ 27. Использование последовательного соединения полупроводниковых стабилитронов

Для работы большинства низковольтных электронных устройств требуются постоянные напряжения, значения которых не превышают 18 В. Но некоторые транзисторные усилители и другие устройства предназначены для работы с источниками питания, выходное напряжение которых лежит в пределах от 24 до 28 В. Как правило, необходимо стабилизировать выходное напряжение таких источников, и обычно, за исключением редких случаев, возможно использование параметрических стабилизаторов.

К сожалению, стабилитроны с напряжением пробоя около 28 В менее распространены, чем стабилитроны, имеющие напряжение стабилизации 6, 9, 12 или 15 В. Поэтому могут возникнуть трудности с приобретением таких стабилитронов, особенно в сельских районах. Но это не столь уж

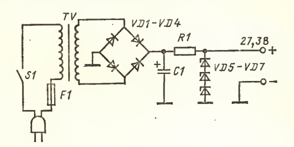


Рис. 5.60

серьезная проблема, поскольку нужное напряжение можно получить, включив последовательно несколько стабилитронов с относительно низким напряжением пробоя.

На рис. 5.60 показан источник питания, в котором использовано последовательное включение стабилитронов, обеспечивающее выходное напряжение 27,3 В. Значение выходного напряжения определяется суммой напряжений

пробоя стабилитронов. Здесь используются стабилитроны с напряжением стабилизации 9,1 В и номинальной мощностью 0,5 Вт. Остальные компоненты имеют следующие параметры: электролитический конденсатор *C1* — 500 мкФ, 50 В; диоды *VD1* — *VD4* — 50 В, 1 А; резистор *R1* — 15 Ом, 5 Вт; предохранитель *F1* — 0,5 А. Действующее значение напряжения на вторичной обмотке трансформатора равно 25,2 В, а выходной ток равен 1 А.

Источник мало чем отличается от других устройств питания, где используется двухполупериодный мостовой выпрямитель с емкостным фильтром. Здесь выпрямленное напряжение сглаживается конденсатором *C1*. Параметрический стабилизатор состоит из балластного резистора *R1* и трех последовательно соединенных стабилитронов. В схеме показано, что металлическое шасси, на котором смонтирован источник, используется как отрицательный полюс источника питания. Конечно, выход источника может быть изолирован от шасси. Для этого достаточно соединить монтажными проводниками точку объединения двух анодов диодов выпрямителя, отрицательный электрод конденсатора *C1* и анод стабилитрона *VD5*. Этот провод может служить отрицательным выходным выводом.

На рис. 5.61 показано возможное расположение компонентов выходной части источника на монтажной плате.

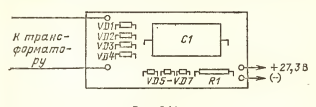


Рис. 5.61

Трансформатор и элементы первичной цепи можно установить в небольшом пластмассовом или алюминиевом корпусе. Закрепив здесь же монтажную плату с выходной частью, завершите сборку источника. Убедитесь лишний раз в правильности включения стабилитронов, так как изменение полярности включения стабилитронов делает цепь абсолютно бесполезной. Убедившись в отсутствии ошибок в монтаже, подключите к выходным зажимам источника вольтметр постоянного тока, способный измерять требуемый уровень напряжеиия. Включите источник в сеть и определите значе-

ние выходного напряжения. Оно может несколько отличаться от значения 27,3 В вследствие разброса параметров стабилитронов. Если выходное напряжение равно нулю, проверьте источник от входа до выхода. В том случае, когда выходное напряжение ближе к значению 35 В, то, вероятнее всего, ошибка обусловлена неправильным соединением или дефектом одного или нескольких стабилитронов.

Рассмотренный источник питания мало чем отличается от других устройств подобного типа, за исключением того, что использовано последовательное соединение стабилитронов для получения нужного значения выходного напряжения. С таким же успехом можно было бы применить один стабилитрон с напряжением пробоя 28 В. Но мы предполагаем, что стабилитроны с низким уровнем напряжения пробоя более доступны. Если у вас возникнет потребность в источнике с выходным напряжением 24 В, то, заменив три стабилитрона двумя последовательного включения и имеющими напряжение стабилизации 12 В, вы получите то, что нужно. Возможно последовательное соединение любого количества стабилитронов для увеличения напряжения стабилизации, но параллельное соединение стабилитронов бессмысленно. Некоторые полагают, что параллельное соединение двух стабилитронов, имеющих напряжение пробоя 6 В, образует эквивалентный стабилитрон с напряжением стабилизации 3 В. Дело обстоит совсем не так. Такое параллельное соединение будет все же стабилизировать напряжение около 6 В, но вследствие неизбежного разброса в напряжениях пробоя будет пробит только один из них, а именно тот, который имеет меньшее значение этого параметра. Это же замечание относится к параллельному соединению стабилитронов, имеющих заметно различные напряжения пробоя.

№ 28. Использование измерителей тока для измерения напряжения

Весьма желательным, если не обязательным, является измерение выходного напряжения источников питания. Проверка работоспособности всех рассмотренных нами устройств питания предполагает использование внешнего вольтметра. Чаще всего это универсальный многопредельный измерительный прибор, способный измерять самые разные значения напряжений, постоянных или переменных, токов, сопротивлений и т. п.

Рано или поздно вы захотите снабдить созданный источник питания встроенным вольтметром. Для этого, конечно, необходимо предусмотреть соответствующее установочное место в корпусе источника и соединить измерительные выводы прибора с выходными гнездами источника питания. Разумеется, измерительный прибор должен иметь такую шкалу показаний, которая наилучшим образом соответствует уровню выходного напряжения источника питания.

Измерительные устройства могут быть важнейшими элементами источника питания особенно тогда, когда используется нагрузка, критичная к значению напряжения питания. В радиопередающих устройствах часто необходимо контролировать выходную мощность радиопередатчиков, т. е. измерять одновременно и напряжение, и ток. Для высоковольтных источников питания контроль выходного напряжения необходим для обеспечения мер безопасности.

Каким же образом выбрать наиболее подходящий измерительный прибор? Предположим, что выходное напряжение источника питания равно 150 В. Может показаться, что любой вольтметр, имеющий шкалу с максимальным показанием 150 В или выше, вполне пригоден для измерения выходного напряжения источника питания. Это верно, но нельзя забывать, что необходимо обеспечить определенную точность измерений. Если вольтметр имеет шкалу, рассчитанную на 150 В, а выходное напряжение источника по каким-либо причинам увеличилось до значения 155 В (что вполне вероятно), то вы не сможете зафиксировать значение выходного напряжения. Здесь можно будет констатировать тот факт, что выходное напряжение превышает 150 В, но нет ответа на вопрос, каково же это превышение? Рассмотренный пример показывает, что вольтметр должен быть способен измерять напряжения, значения которых, во всяком случае, превосходят максимально возможное значение выходного напряжения источника питания.

Рассмотрим другой случай. Пусть в том же источнике питания используется вольтметр с максимальным показанием шкалы 1500 В. Это значит, что стрелка прибора в нашем источнике отклонится на одну десятую часть всей шкалы. Все показания будут сосредоточены в этой части шкалы, а 90 % ее не будут использованы. В этом случае практически невозможно считывать сколь-нибудь точные показания. В самом деле, пусть выходное напряжение источника изменилось на 10 %, т. е. на 15 В. Этому будет соответствовать изменение положения стрелки прибора на од-

ну сотую часть шкалы. Его почти невозможно заметить. К тому же большинство стрелочных измерительных приборов обеспечивают максимальную точность показаний, когда стрелочный указатель находится в середине шкалы прибора, иными словами, вольтметр, имеющий шкалу, рассчитанную на 1500 В, наиболее пригоден для измерения напряжений, значения которых близки к напряжению 750 В. В практических случаях можно рекомендовать использовать для измерения вольтметр, в котором при номинальном значении выходного напряжения источника питания стрелочный указатель отклоняется на три четверти шкалы прибора. Для источника с выходным напряжением 75 В следует выбрать вольтметр, рассчитанный на 100 В, а прибор с максимальным показанием 200 В лучше всего подходит к источникам с выходным напряжением 150 В, при этом принимается во внимание, что выходное напряжение отклоняется от номинального значения на 15—20 %.

Вернемся к проблемам, связанным с приобретением измерительного устройства. Вы можете приобрести вольтметр в магазине радиотоваров, но некоторые из них могут оказаться довольно дорогостоящими, а другие не будут иметь подходящую для конкретного случая шкалу. Просмотр каталогов позволяет сделать вывод, что наиболее широко распространены вольтметры, рассчитанные на максимальные напряжения 3, 5, 10, 15, 25 и 150 В. Стоимость нового вольтметра может превышать затраты на создание всего источника питания, особенно в том случае, если последний выполнен из деталей старого оборудования. Где же выход из создавшегося положения?

Для того чтобы ответить на поставленный вопрос, нужно знать, что представляет собой вольтметр. В сущности, это измеритель малых токов миллиамперного или микроамперного диапазона, последовательно с которым включено сопротивление. В магазинах радиотоваров можно приобрести дешевые милли- или микроамперметры, которые очень просто можно приспособить для измерения напряжения.

На рис. 5.62 показано устройство для измерения напряжений, выполненное на основе микроамперметра *M1*, имеющего шкалу с максимальным показанием 50 мкА. Включенный последовательно с микроамперметром резистор *R1* преобразует напряжение, приложенное к зажимам измерительного устройства, в протекающий в последовательной цепи ток, значение которого фиксируется микроамперметром *M1*. Так как падение напряжения на микроамперметре

практически всегда существенно меньше измеряемого напряжения, то значение тока в последовательной цепи определяется делением измеряемого напряжения U на сопротивление резистора $R1$. Если значение напряжения выражено в основных единицах (вольтах), а значение сопротивления задано в мегаомах (1 МОм = 1 000 000 Ом), то ток имеет размерность микроампер (1 мкА = 1/1 000 000 А), при этом значению тока 1 мкА, протекающему через микроамперметр, будет соответствовать 1 В измеряемого напряжения. Следовательно, включив последовательно с $M1$ резистор $R1$, имеющий сопротивление 1 МОм, получим вольтметр, максимальное отклонение стрелки которого будет соответствовать напряжению 50 В. Увеличение сопротивления приводит к соответствующему увеличению максимального показания вольтметра. Так, например, при $R1 = 10$ МОм получим вольтметр со шкалой 500 В, а при $R1 = 100$ МОм максимальное показание увеличится до 5000 В. Здесь мы использовали микроамперметр с максимальным показанием 50 мкА. Если прибор имеет шкалу 100 мкА, то соответствующим образом увеличится и предельное значение измеряемого напряжения: при сопротивлении 1 МОм максимальное отклонение стрелки микроамперметра эквивалентно напряжению 100 В.

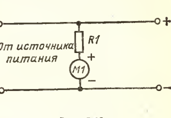


Рис. 5.62

Возможна ситуация, когда у вас под рукой окажется микроамперметр, имеющий иное максимальное показание шкалы, и необходимо будет выбрать резистор $R1$ с соответствующим сопротивлением. Для определения этого сопротивления достаточно разделить значение предельного показания эквивалентного вольтметра, которое вы желаете получить, на значение тока, соответствующее максимальному показанию микроамперметра. Если последнее составляет, например, 500 мкА, а необходимо измерять напряжение не выше 50 В, то сопротивление резистора должно быть равно 0,1 МОм (100 кОм), так как 50 : 500 = 0,1. Здесь, как и прежде, напряжение выражено в основных единицах, а ток — в микроамперах. Поэтому результат деления имеет размерность мегаом.

Для увеличения точности показаний следует использовать измерительные резисторы, имеющие технологический

разброс сопротивлений, не превышающих 1 % номинальных значений. Стандартные широко распространенные резисторы имеют точность 5—10 %. Однако выпускаемые серийно измерительные резисторы имеют, как правило, сопротивления, не превышающие 1 МОм. Если требуется большее сопротивление, то следует использовать последовательное включение резисторов. Напоминаем, что общее сопротивление последовательно соединенных резисторов определяется суммой отдельно взятых сопротивлений. Так, например, последовательное соединение 10 резисторов с сопротивлением 500 кОм=0,5 МОм даст общее сопротивление 5 МОм.

Следует сказать, что при создании высоковольтного измерительного устройства нецелесообразно использовать один резистор даже в том случае, если сопротивление его имеет требуемое значение. Дело в том, что большинство резисторов не предназначено для работы с высокими уровнями напряжений. В этом случае лучше включить 8—10 отдельных компонентов и обеспечить их надежную изоляцию. Смонтировать их можно на небольшой монтажной плате, которую проще всего закрепить непосредственно на измерительных зажимах используемого прибора.

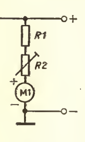


Рис. 5.63

Если требуется производить достаточно точные измерения, то необходимо скорректировать показания созданного вольтметра с показаниями внешнего точного измерительного прибора. Для этого последовательно с резистором *R1* следует включить резистор *R2* с переменным сопротивлением, значение которого определяется как типом используемого прибора *M1*, так и уровнем измеряемого напряжения (рис. 5.63). Для точной установки показаний *M1* лучше всего использовать многооборотный потенциометр. Вращая движок потенциометра, необходимо установить показание измерителя *M1* в соответствии с точным значением, которое дает внешний вольтметр. В процессе длительной эксплуатации подобную корректировку необходимо периодически повторять.

Случайно оказавшийся под рукой вольтметр, предназначенный для измерения относительно небольших напряжений, можно приспособить для измерения более высоких напряжений, использовав тот же метод, т.е. включив последовательно с вольтметром резистор. Правда, здесь придется определять сопротивление резистора методом проб

и ошибок, так как оно сильно зависит от внутреннего сопротивления прибора и может изменяться от прибора к прибору. При подстройке необходимо иметь вольтметр, дающий точное показание измеряемого напряжения. Следует сначала использовать последовательный высокоомный резистор с переменным сопротивлением и изменять это сопротивление, сравнивая показание создаваемого вами измерителя с показанием точного вольтметра. Получив одинаковые показания, можно измерить требуемое сопротивление точным омметром и заменить переменное сопротивление постоянным. В большинстве случаев с постоянным сопротивлением все же приходится включать подстроечный резистор.

В целом рассмотренные способы создания измерительных вольтметров очень просты и доступны, поскольку содержат минимум компонентов. Точность созданных вольтметров будет определяться точностью используемых резисторов и микроамперметров.

№ 29. Один из способов регулирования выходного напряжения нестабилизированных источников питания

Мы уже обсуждали возможность изменения выходного напряжения нестабилизированных источников питания, которое достигается включением переменного сопротивления последовательно с нагрузкой. Однако это не единственный и, может быть, даже не очень желательный путь, особенно при высоких значениях выходного тока. Если, например, источник питания с выходным напряжением 6 В отдает в нагрузку ток 5 А, то при работе с сетью, имеющей действующее значение напряжения 115 В, ток в первичной обмотке трансформатора будет иметь значение около 250 мА. Гораздо проще использовать последовательное сопротивление в цепи с меньшим значением тока.

На рис. 5.64 показана первичная обмотка трансформатора источника питания с последовательно включенным резистором, имеющим переменное сопротивление. Здесь не приведены параметры компонентов, так как они в конечном итоге определяются мощностью источника питания. В нашем примере при входном токе 250 мА напряжение на первичной обмотке трансформатора будет уменьшаться по сравнению с напряжением сети на 25 В на каждые 100 Ом последовательно включенного сопротивления. При сопротивлении 1200 Ом напряжение первичной обмотки будет

почти вдвое меньше напряжения сети. Разумеется, в такое число раз уменьшается и напряжение на вторичной обмотке, а следовательно, и выходное напряжение источника питания.

Значение сопротивления определяется требуемым диапазоном регулирования выходного напряжения. Использовав резистор с сопротивлением, регулируемым от 0 до 100 Ом, получим возможность уменьшить выходное напряжение в рассмотренном примере на 25 %. Сопротивление можно найти, воспользовавшись законом Ома $U=IR$, где U — падение напряжения на резисторе, I — ток в первичной цепи, R — искомое сопротивление. Отсюда следует, что $R=U/I$, и, если мы хотим уменьшить напряжение на первичной обмотке на 25 В при токе 250 мА, необходимо выбрать резистор с максимальным сопротивлением 100 Ом (25 : 0,25 = 100). Мощность, выделяющаяся в резисторе, определяется формулой $P = I^2R$. Здесь $P = 6{,}25$ Вт. Конечно, следует выбирать резистор с определенным запасом, например с номинальной мощностью 10 Вт. Совершенно очевидно, что использование резистора не приводит к заметному усложнению конструкции источника питания. Все, что необходимомо сделать, — это подобрать требуемый резистор и соединить его необходимым образом с элементами первичной цепи, установив резистор так, чтобы удобно было регулировать уровень выходного напряжения.

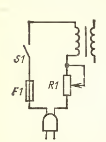


Рис. 5.64

№ 30. Расширение пределов измерения амперметров

При измерении токов может возникнуть та же проблема, что и при измерении напряжений: необходимо измерить ток, значение которого превышает предельное показание шкалы амперметра, миллиамперметра или микроамперметра. Выйти из создавшегося положения можно, использовав измерительное устройство, показанное на рис. 5.65, где параллельно с измерителем тока M включен шунт (резистор R_s). Общее сопротивление измерительной цепи определяется параллельным соединением сопротивлений шунта и прибора M. Для того чтобы точно определить необходимое сопротивление шунта, требуется знать внутреннее сопротивление прибора. А последнее трудно практически оп-

ределить, так как оно очень мало. Поэтому обычно R_s подбирается экспериментальным путем.

Измерительное устройство включено последовательно между положительным выводом источника питания (слева) и нагрузкой (подключается между правыми выводами схемы). Если сопротивление шунта R_s точно равно сопротивлению прибора M, то общий ток распределяется поровну между шунтом и прибором. Должно быть понятно, что для получения значения тока нагрузки необходимо удвоить показание прибора. Если ток нагрузки и максимальное показание шкалы прибора резко отличаются, то вся трудность состоит в том, чтобы сопротивление шунта сделать достаточно малым — таким, чтобы через него замыкалась бо́льшая часть общего тока. Например, если максимальный ток нагрузки равен 500 мкА, а измерительный прибор рассчитан на ток 50 мкА, то через шунт должен протекать ток 450 мкА. Конечно, цифра 50 на шкале микроамперметра будет соответствовать току нагрузки 500 мкА.

Рис. 5.65

В радиолюбительской практике шунты — это обычно самодельные устройства. Очень просто для этой цели использовать высокочастотные катушки индуктивности с однослойной намоткой. Как правило, их сопротивление составляет доли ома и зависит от длины намотанного проводника. Для создания измерительного устройства необходим источник тока, значение которого известно. Такой источник можно сделать, использовав источник питания с известным уровнем выходного напряжения и резистор с известным же, по возможности более точным, значением сопротивления. Тогда в соответствии с законом Ома ток определяется по формуле $I=U/R$. Например, использовав гальванический элемент с напряжением 1,5 В и резистор с сопротивлением 10 Ом, получим источник тока, значение которого равно 0,15 А, или 150 мА. Подключив к зажимам измерителя M выбранный вами шунт, необходимо пропустить через это соединение заданный ток. Если стрелка прибора не отклоняется или отклоняется на ничтожную часть всей шкалы, то сопротивление шунта слишком велико. В последнем случае следует отмотать несколько витков

провода с катушки высокочастотного дросселя, если он используется в качестве шунта. Точная установка показаний возможна только путем очень тщательной подгонки сопротивления шунта.

Шунт можно сделать и иным образом. Для этого необходимо на обычном резисторе, имеющем большое сопротивление, сделать намотку возможно более тонким проводом, покрытым изолирующим лаком. Выводы резистора можно использовать для закрепления выводов провода после окончательной подгонки сопротивления шунта, образованного такой намоткой.

Используя описанный метод, можно сделать устройства, предназначенные для измерения токов, существенно превышающих уровень показаний исходного прибора. Увеличение тока, протекающего через шунт, требует пропорционального увеличения сечения провода, из которого он изготовляется. Это предотвратит возможный перегрев и перегорание шунта.

№ 31. Измерение напряжения и тока одним прибором

Контроль выходного напряжения и тока источника питания с помощью одного измерительного устройства позволяет сделать источник более универсальным и компактным.

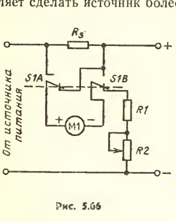


Рис. 5.66

Схема такого устройства показана на рис. 5.66. Она содержит миллиамперметр *M1*, максимальное показание шкалы которого равно 5 мА, резистор *R1*, имеющий постоянное сопротивление 10 кОм и номинальную мощность 0,5 Вт, подстроечный резистор *R2* с переменным сопротивлением 3 кОм, двухпозиционный переключатель на два направления *S1* и шунт R_s. Все элементы встраиваются в корпус источника питания. Выбор режима измерения (ток, напряжение) осуществляется поворотом ручки переключателя *S1*. Пределы измерения постоянного напряжения составляют 0—50 В, а тока 0—5 А.

Если общие выводы переключателя *S1*, между которыми

включен миллиамперметр $M1$, соединены с верхними контактами переключателя, то шунт R_s соединяется параллельно с выводами измерительного прибора, и устройство обеспечивает измерение выходного тока источника питания. Сопротивление шунта подбирается экспериментальным путем по методике, изложенной в предыдущем параграфе.

Подключение общих выводов переключателя к нижним контактам приводит к тому, что шунт R_s отключается от миллиамперметра, а последний образует с резисторами $R1$, $R2$ последовательную цепь, которая подключена к выходным гнездам источника питания. Такое соединение соответствует режиму измерения выходного напряжения. Резисторы $R1$, $R2$ должны иметь достаточную точность. С помощью резистора $R2$ и внешнего вольтметра осуществляется точная подстройка показаний измерителя $M1$.

Собрать измерительное устройство можно либо в отдельном корпусе, либо непосредственно в корпусе источника питания. Последнее наиболее целесообразно. Схема настолько проста, что ошибку в монтаже допустить почти немыслимо. Единственное, что требует внимания, — это полярность подключения выводов миллиамперметра $M1$. Вы не ограничены выбором указанного типа прибора: можно использовать и любой другой, подобрав соответствующим образом сопротивления шунта R_s и резисторов $R1$ и $R2$.

№ 32. Варианты включения вторичных обмоток трансформатора

Иногда, создавая тот или иной источник питания и используя для этого старый трансформатор, можно столкнуться с ситуацией, когда напряжение на вторичной обмотке несколько выше или ниже требуемого уровня. Как правило, такие трансформаторы имеют одну вторичную обмотку (может быть и несколько), имеющую высокий или средний уровень выходного напряжения, и несколько низковольтных вторичных обмоток.

Мы уже рассматривали источники питания, в которых для увеличения выходного напряжения использовалось последовательное соединение обмоток двух трансформаторов. На рис. 5.67 показано, как можно соединить вторичные обмотки одного трансформатора в целях увеличения или уменьшения выходного напряжения. Для объяснения этого напомним, что точки, поставленные в схеме у обмоток, обозначают одноименные выводы, например начало каждой

из обмоток. Если известно, что начало одной из обмоток трансформатора в данный момент времени имеет более высокий потенциал по отношению к ее концу, т. е. между началом и концом обмотки действует положительная разность потенциалов (положительное напряжение), то напряжение на любой из обмоток будет иметь такую же полярность.

Теперь предположим, что действующее значение напряжения основной вторичной обмотки *2* рассматриваемого трансформатора равно 520 В, а необходимо иметь, по крайней мере, 530 В выходного напряжения. Если трансформа-

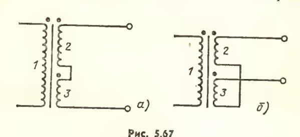


Рис. 5.67

тор имеет другую вторичную низковольтную обмотку *3*, например накальную с выходным напряжением 12 В, то, соединив последовательно вторичные обмотки так, как показано на рис. 5.67, *а*, получим желаемый результат. Здесь объединены между собой разноименные выводы обмоток: конец обмотки *2* связан с началом обмотки *3*. Подобное включение обмоток называется согласным последовательным соединением. Общее выходное напряжение между началом обмотки *2* и концом обмотки *3* в любой момент времени равно сумме напряжений на двух обмотках. Поэтому действующее значение выходного напряжения будет равно 532 В. Должно быть понятно, что результат не изменится, если объединить между собой противоположные выводы вторичных обмоток, включив их по-прежнему согласно.

Если указанное значение 520 В несколько выше, чем требуется, то можно использовать последовательное встречное включение вторичных обмоток, показанное на рис. 5.67, *б*. Здесь объединены одноименные выводы вторичных обмоток (конец одной связан с концом другой), а выходное напряжение снимается между двумя противоположными одноименными выводами (между началами одной и второй обмотки), при этом выходное напряжение равно разности напряжений на каждой из обмоток 508 В.

Следует отметить, что при последовательном соединении обмоток результирующий номинальный выходной ток определяется наименьшим значением из токов двух обмоток. Поскольку обмотки с низким выходным напряжением в рассматриваемых трансформаторах предназначены для питания цепей накала ламповых схем, то они имеют большее значение номинального тока. Поэтому номинальный выходной ток последовательного соединения здесь, как правило, равен току основной обмотки.

Мы с вами уже говорили о том, что многие типы старых телевизионных трансформаторов имеют несколько накальных обмоток. Все они могут быть использованы для согласно-последовательного или встречно-последовательного соединений. Чем больше количество вторичных обмоток и шире спектр их выходных напряжений, тем, очевидно, большими регулировочными возможностями обладает данный тип трансформатора. Само собой разумеется, что при использовании одного основного двухобмоточного трансформатора аналогичный эффект можно получить, добавив один или несколько дополнительных трансформаторов. При этом первичные обмотки дополнительных трансформаторов подключаются непосредственно к сети, а вторичные обмотки соединяются последовательно встречно или согласно с вторичной обмоткой основного трансформатора. Если по каким-либо причинам не обозначены одноименные выводы обмоток, то тип полученного последовательного соединения можно определить внешним измерением результирующего выходного напряжения, сравнив полученное значение с номинальным выходным напряжением основного трансформатора. Согласно-последовательное соединение вторичных обмоток всегда приводит к увеличению выходного напряжения, встречное — к уменьшению.

Рассмотренный выше пример показывает, что при последовательном соединении обмоток, имеющих заметно различные номинальные значения выходных напряжений, результирующее выходное напряжение изменяется незначительно. Существует путь более радикального влияния на выходное напряжение в трансформаторах, имеющих средний уровень выходного напряжения по основной обмотке и несколько обмоток с низким выходным напряжением. Он заключается в изменении напряжения на первичной обмотке трансформатора: выходное напряжение в несколько раз превышает напряжение первичной обмотки, и изменение последнего приводит к пропорциональному изменению пер-

вого. Если, например, выходное напряжение в 5 раз больше входного, то изменение входного напряжения на 10 В приведет к изменению выходного напряжения на 50 В.

На рис. 5.68 показано, как обмотка *3* трансформатора, рассмотренного нами в предыдущем примере, соединена согласно-последовательно с первичной обмоткой трансформатора для уменьшения выходного напряжения на обмотке *2*. Предположим, что первичная обмотка рассчитана для работы от сети 115 В, а номинальное напряжение вторичной обмотки *3* равно 12 В. Согласно-последовательное соединение приведет к тому, что общее входное напряжение перераспределится между обмотками в отношении, пропорциональном отношению значений номинальных напряжений. Это последнее, как мы знаем, определяется отношением чисел витков обмоток. Таким образом, при подключении последовательного соединения к сети 115 В на первичной обмотке будет выделяться около 90 % общего напряжения сети. Если номинальное значение выходного напряжения обмотки *2* равно 500 В, то здесь на ней будет наводиться напряжение 450 В. Рассмотренное включение просто эквивалентно увеличению числа витков первичной (результирующей) обмотки трансформатора и соответствующему уменьшению коэффициента трансформации.

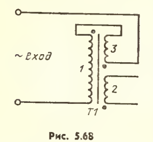


Рис. 5.68

Напомним, что обозначение выводов обмоток трансформатора характеризует направление намотки на сердечнике. В рассмотренном выше случае последовательное соединение образовало одну первичную обмотку с бо́льшим числом витков, причем направления намоток одной и второй обмоток совпадают, что и дает согласно-последовательное соединение. Если в схеме рис. 5.68 объединить между собой одноименные выводы первичной обмотки *1* и вторичной обмотки *3*, то получим две последовательно соединенные обмотки, но с противоположным направлением намотки витков. В отличие от первого случая это встречно-последовательное включение обмоток эквивалентно уменьшению числа витков результирующей первичной обмотки и соответствующему увеличению коэффициента трансформации. Выходное напряжение обмотки *2* в этом случае было бы равно 550 В.

№ 33. Стабилизированный источник питания с выходным напряжением 5 В

Здесь и в дальнейшем рассмотрим ряд источников питания с применением интегральных стабилизаторов напряжения. Широко распространены трехвыводные интегральные стабилизаторы, предназначенные для получения различных уровней выходных напряжений и токов. В схеме, описанной в этом параграфе, используется интегральный стабилизатор напряжения 7805. Две последние цифры в обозначении указывают значение выходного напряжения. Четное число в начале обозначения, состоящее из двух цифр — 78, показывает, что стабилизатор предназначен для получения положительного выходного напряжения относительно общего вывода интегральной схемы; нечетное число свидетельствует об отрицательном выходном напряжении. Поэтому обозначение 7905 говорит о том, что трехвыводной стабилизатор обеспечивает отрицательное выходное напряжение 5 В. Аналогично этому индекс 7812 свидетельствует, что стабилизатор предназначен для получения положительного выходного напряжения 12 В.

Трехвыводные стабилизаторы, как это следует из названия, имеют три вывода для подключения к внешним цепям: входной, выходной и общий. Общий вывод обычно соединяется с корпусом («землей») источника питания. Входное напряжение подается между входным и общим выводами, выходное снимается между выходным и общим выводами. Для обеспечения нормальной работоспособности стабилизатора значение входного напряжения при максимальной нагрузке должно, по крайней мере, на 2,5 В превышать значение выходного напряжения. Поэтому при выходном напряжении 5 В входное нестабилизированное напряжение не должно быть меньше 7,5 В. Максимальное входное напряжение для стабилизаторов 78XX и 79XX равно 30 В. Но следует помнить, что рост входного напряжения приводит к увеличению мощности, выделяющейся в стабилизаторе, и, следовательно, к увеличению рабочей температуры. Стабилизатор имеет встроенную защиту от перегрузок: увеличение выходного тока сверх номинального приводит к уменьшению выходного напряжения и самопроизвольному выключению стабилизатора.

Чаще всего необходима установка стабилизаторов на теплоотводящие радиаторы для предотвращения перегрева. Последний может вызвать выход стабилизатора из строя.

При выходных токах несколько сот миллиампер можно в качестве радиаторов использовать обычные металлические пластины. Однако при токах выше 500 мА необходимо применение стандартных ребристых радиаторов, позволяющих отвести большое количество тепла, выделяющегося в стабилизаторе.

Схема источника питания показана на рис. 5.69. В ней использованы следующие компоненты: электролитический

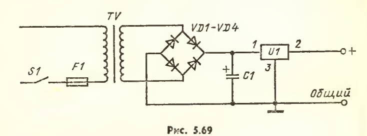


Рис. 5.69

конденсатор *C1* — 10 000 мкФ, 35 В; диоды *VD1—VD4* — 50 В, 3 А; предохранитель *F1* — 0,2 А; стабилизатор *U1* — 7805. Напряжение на вторичной обмотке трансформатора при номинальном токе 3 А имеет значение 6,3 В. В схеме использован двухполупериодный мостовой выпрямитель. Емкостный фильтр обеспечивает получение нестабилизированного напряжения 8,5 В, что на 1 В больше минимального значения входного напряжения стабилизатора. Увеличение напряжения на вторичной обмотке трансформатора нежелательно, так как оно приведет к увеличению мощности, выделяющейся в стабилизаторе. Номинальное значение выходного тока трансформатора определяется выходной мощностью стабилизатора.

При сборке источника следует расположить компоненты так, чтобы монтажные соединения имели наименьшую длину. Необходимо обратить внимание на то, чтобы радиатор стабилизатора напряжения имел достаточную охлаждающую поверхность. Источник можно использовать для питания различных электронных схем, в частности устройств, выполненных на интегральных логических схемах ТТЛ-типа (транзисторно-транзисторные логические схемы).

№ 34. Стабилизированный источник питания с отрицательным выходным напряжением 5 В

Схема источника питания, имеющего отрицательное выходное напряжение, приведена на рис. 5.70. Она отличается от предыдущей тем, что в ней использован интеграль-

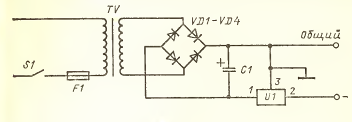


Рис. 5.70

ный стабилизатор 7905, у которого «заземлен» общий вывод *3*, так же как и положительный выход двухполупериодного мостового выпрямителя. Отрицательное относительно «земли» выходное напряжение выпрямителя является входным напряжением стабилизатора. Параметры компонентов в последних двух схемах полностью идентичны.

№ 35. Стабилизированные источники напряжения с выходным напряжением 12 В

Если в схеме, приведенной на рис. 5.69, вместо интегрального стабилизатора 7805 использовать трехвыводной стабилизатор 7812, то получим источник питания с положительным выходным напряжением 12 В. Конечно, при этом требуется внести еще ряд изменений, касающихся параметров некоторых компонентов. В частности, необходимо использовать трансформатор с более высоким напряжением на вторичной обмотке, так как увеличивается уровень выходного напряжения источника питания. С учетом колебаний напряжения сети (115 В) и необходимого значения входного напряжения стабилизатора, которое должно быть, по крайней мере, на 2,5 В больше выходного напряжения, можно прийти к выводу, что действующее значение напряжения вторичной обмотки трансформатора должно быть не менее 11 В. Можно при этом уменьшить емкость конденсатора фильтра до 7000 мкФ, а номинальное значение тока плавкого предохранителя необходимо увеличить до 0,5 А.

Применив компоненты с такими же параметрами в схеме, показанной на рис. 5.70, и использовав интегральный стабилизатор, 7912, получим источник с отрицательным выходным напряжением, абсолютное значение которого также равно 12 В. Заметим, что и в том, и в другом случае вполне можно использовать диоды с прежними параметрами: обратным напряжением 50 В и прямым током 3 А.

Эти источники можно применять для питания самых различных электронных устройств, предназначенных для работы с подобными уровнями питающих напряжений, в частности для любых автомобильных устройств.

№ 36. Двухканальный источник питания с интегральными стабилизаторами

В схеме источника питания, показанной на рис. 5.71, как и в четырех предыдущих, используются трехвыводные стабилизаторы. Здесь они обозначены *U1* (7815) и *U2*

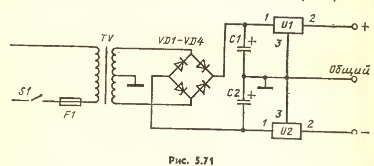


Рис. 5.71

(7915) и предназначены для получения двух разнополярных относительно общей точки уровней напряжения, имеющих значения 15 В. Остальные компоненты схемы имеют следующие параметры: электролитические конденсаторы *C1*, *C2* — 6000 мкФ, 35 В; диоды *VD1*—*VD4* — 50 В, 6 А; предохранитель *F1* — 1,5 А. Максимальный выходной ток каждого канала равен 1,5 А.

Вторичная обмотка трансформатора имеет вывод средней точки, который заземлен, так же как и общие выводы интегральных стабилизаторов *U1* и *U2*. Действующее значение переменного напряжения на каждой из вторичных полуобмоток, имеющих номинальный ток 5 А, равно 14 В. Для получения равных по значению, но противоположных

по знаку выходных напряжений используются два двухполупериодных выпрямителя с выводом нулевой точки.

Наиболее целесообразная область применения источника — питание устройств, выполненных на линейных интегральных схемах.

№ 37. Трехканальный стабилизированный источник питания

Представленный ниже источник питания, выполненный с применением трехвыводных интегральных стабилизаторов, является достаточно универсальным и может успешно использоваться для питания микропроцессорных устройств.

Схема источника показана на рис. 5.72. Один интеграль-

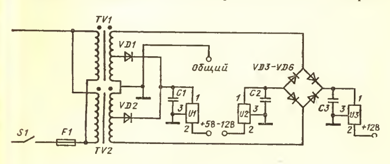


Рис. 5.72

ный стабилизатор типа 7805 (*U1*) обеспечивает положительное выходное напряжение 5 В при номинальном токе 1,5 А. Стабилизаторы 7812 (*U3*) и 7813 (*U2*) образуют разнополярные выходные напряжения, значения которых равны ±12 В. Максимальный выходной ток этих каналов также составляет 1,5 А. Компоненты схемы имеют следующие параметры: электролитический конденсатор *C1* — 10 000 мкФ, 35 В; электролитические конденсаторы *C2*, *C3* — 7000 мкФ, 35 В; диоды *VD1*—*VD6* — 50 В, 3 А; предохранитель *F1* — 1 А. В источнике используется два одинаковых трансформатора (*TV1* и *TV2*), вторичные обмотки которых имеют отводы средних точек, общее напряжение на каждой из вторичных обмоток равно 12,6 В, а номинальный ток 5 А.

На схеме видно, что первичные обмотки трансформаторов включены параллельно, а вторичные обмотки соедине-

ны последовательно и согласно для обеспечения требуемых стабилизаторами *U2* и *U3* уровней входных напряжений. Точка объединения вторичных обмоток трансформаторов заземлена. Нижняя полуобмотка вторичной обмотки трансформатора *TV1* и верхняя полуобмотка вторичной обмотки трансформатора *TV2* совместно с диодами *VD1* и *VD2* и емкостным фильтром *C1* образуют двухполупериодный выпрямитель с выводом нулевой точки. На выходе этого выпрямителя формируется положительное относительно земли напряжение (около 9 В), которое является входным для интегрального стабилизатора *U1*. Полные вторичные обмотки трансформаторов, диоды *VD3—VD6* и конденсаторы *C2*, *C3* представляют собой два двухполупериодных выпрямителя с выводом нулевой точки, один из которых обеспечивает отрицательное (на конденсаторе *C2*), а другой — положительное (на конденсаторе *C3*) напряжения, значения которых примерно равны ±17 В. Эти напряжения используются как входные для стабилизаторов *U2* и *U1*. Общие выводы всех трех стабилизаторов «заземлены». Таким образом, источник питания имеет три выходных канала: один с положительным напряжением +5 В и два с равными, но разнополярными напряжениями ±12 В.

№ 38. Увеличение выходной мощности стабилизированных источников питания

Все рассмотренные трехвыводные интегральные стабилизаторы напряжения обеспечивают выходной ток не более 1,5 А. Но часто бывает необходимо получить большую выходную мощность, сохранив качество стабилизации выходного напряжения.

Существуют различные пути решения этой задачи. Один из них состоит в параллельном соединении нескольких одинаковых интегральных стабилизаторов. Но вследствие неизбежного технологического разброса параметров отдельных стабилизаторов их выходные напряжения всегда несколько отличаются друг от друга. При параллельной работе стабилизаторов эти различия приводят к неравномерному распределению общего тока нагрузки между стабилизаторами: одни из них имеют максимальный выходной ток, в то время как другие — ничтожно малый или вообще находятся в отключенном состоянии. Для обеспечения равномерного распределения токов здесь требуется применение достаточно сложных выравнивающих устройств.

Более предпочтительно использование внешних мощных транзисторов, весьма просто объединяемых с интегральным стабилизатором и обеспечивающих существенное увеличение выходного тока источника питания.

Один из таких источников с интегральным стабилизатором 7805 (*U1*), показанный на рис. 5.73, содержит следующие компоненты: электролитический конденсатор *C1* —

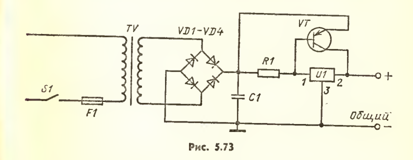


Рис. 5.73

1000 мкФ, 35 В; диоды *VD1*—*VD4* — 50 В, 8 А; резистор *R1* — 6 Ом, 0,5 Вт; транзистор *VT* — 2N 3792; предохранитель *F1* — 0,5 А. Трансформатор имеет выходное напряжение 6,3 В и номинальный ток 6 А.

Обратите внимание, что для увеличения выходной мощности используется *p-n-p* транзистор, коллектор которого подключен к выходу источника питания, а эмиттер соединен с выходом выпрямителя. База транзистора должна быть подключена к входному выводу стабилизатора, а резистор *R1*, включенный между эмиттером и базой транзистора, обеспечивает нормальную работу последнего. При создании практического устройства следует транзистор, так же как и стабилизатор, снабдить подходящим типом теплоотводящего радиатора.

№ 39. Двухканальный интегральный стабилизатор с разнополярными выходами

В предыдущих случаях для получения двух разнополярных уровней выходного напряжения мы использовали два трехвыводных интегральных стабилизатора. Однако существуют монолитные интегральные схемы, специально предназначенные для этой цели. Одна из них, интеграль-

ный стабилизатор LM325, обеспечивает без внешних регулировочных цепей двуполярное выходное напряжение ±15 В относительно общего вывода при номинальном токе 100 мА для каждого выхода. Конструктивно (рис. 5.74) стабилизатор расположен в корпусе типа DIP (плоский корпус с двухрядным расположением штырьевых выводов). Выводы стабилизатора имеют следующие назначения. Вывод *11* является общим для положительного и отрицатель-

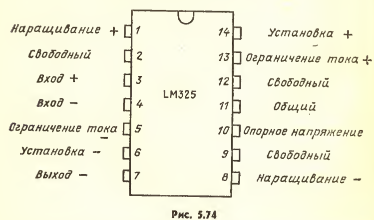


Рис. 5.74

ного *7* выходных напряжений; относительно этого вывода задаются положительное *3* и отрицательное *4* входные напряжения стабилизатора. Уровень выходного тока можно ограничить в каждом канале включением внешних резисторов между выводами *4* и *5* (отрицательный канал) и выводами *1* и *13* (положительный канал). Включение внешних резисторных цепей к выводам *6* и *14* позволяет изменять в некоторых пределах значения выходных напряжений. Увеличение выходной мощности достигается применением внешних биполярных транзисторов, управляющие электроды которых соединяются с выводами *1* и *8*. Опорное напряжение стабилизатора выведено на контакт *10*.

Схема источника питания, использующего стабилизатор LM 325 без применения внешних навесных компонентов, показана на рис. 5.75. Она включает в себя электролитические конденсаторы *C1*, *C2* — 6000 мкФ, 35 В; диоды *VD1*—*VD4* — 50 В, 3 А, предохранитель *F1* — 0,5 А. Вторичная обмотка трансформатора *TV* имеет вывод средней точки. Общее выходное напряжение вторичной обмотки равно 35 В

при номинальном токе 1 А. Для образования разнополярных нестабилизированных напряжений используются два двухполупериодных выпрямителя с выводом нулевой точки, выходное напряжение которых фильтруется конденсаторами *C1* и *C2*. Без использования внешних компонентов выводы стабилизатора должны быть объединены так, как

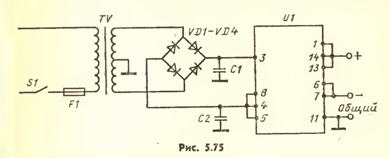


Рис. 5.75

показано на схеме. Тогда объединенные выводы *1*, *14*, *13* образуют положительный выход относительно общей точки, а объединенные выводы *6* и *7* — отрицательный. Выходные напряжения здесь имеют значения ±15 В.

№ 40. Двухканальный стабилизатор напряжений 12 В

Если в схеме, показанной на рис. 5.75, вместо стабилизатора LM325 использовать интегральный стабилизатор LM326, который конструктивно выполнен точно так же, как и первый, то получим двухканальный источник питания с разнополярными выходными напряжениями ±12 В. Остальные компоненты можно оставить без изменения, хотя можно уменьшить выходное напряжение трансформатора.

№ 41. Низковольтный прецизионный источник питания

Прецизионный интегральный стабилизатор LM723, дополненный небольшим количеством внешних компонентов, позволяет получить стабилизированное выходное напряжение, значение которого можно варьировать от 2 до 37 В при максимальном выходном токе 150 мА. Точное значение выходного напряжения определяется параметрами включенных определенным образом внешних резисторов. Назначение выводов интегрального стабилизатора в корпусе DIP показано на рис. 5.76, а на рис. 5.77 представлен источник

питания на основе LM723, обеспечивающий выходное напряжение 6 В. В источнике использованы следующие компоненты: электролитический конденсатор *C1* — 10 000 мкФ, 35 В; конденсатор *C2* — 100 пФ; диоды *VD1*—*VD4* — 50 В, 3 А; резисторы *R1*=1,15 кОм, *R2*=6,04 кОм; резисторы

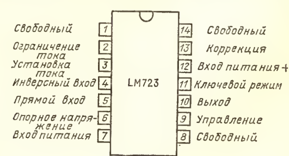


Рис. 5.76

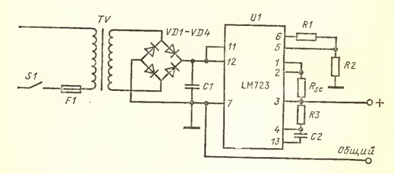


Рис. 5.77

R_{sc}, *R3*; предохранитель *F1* — 0,5 А. Трансформатор *TV* имеет выходное напряжение 6,3 В при номинальном токе 1 А. Если использовать трансформатор с выходным напряжением 9 В, то можно изменять уровень выходного напряжения в диапазоне 2—7 В.

Входное напряжение стабилизатора должно на 3—4 В превышать выходное. В схеме источника нестабилизированное напряжение питания вырабатывается двухполупериодным мостовым выпрямителем. Выходное напряжение стабилизатора зависит от сопротивлений резисторов *R1*, *R2* и определяется формулой $U_{\text{вых}}=U_{\text{оп}}R2/(R1+R2)$, где

$U_{оп}$ — опорное напряжение стабилизатора, равное 7 В. Для уменьшения ошибки, связанной с входным током смещения усилителя стабилизатора, сопротивление резистора *R3* следует определить из выражения $R3 = R1R2/(R1+R2)$. Резистор R_{sc} определяет максимальный выходной ток стабилизатора. Если $R_{sc}=0$, т. е. выводы *2* и *3* замкнуты между собой, то максимальный выходной ток равен 150 мА. В противном случае он вычисляется по формуле $I=0{,}6/R_{sc}$.

При сборке источника питания следует быть внимательным, точно соблюдать соединения, представленные в принципиальной схеме. В принципе можно исключить резистор *R3*, но в этом случае необходимо соединить между собой выводы *3* и *4* стабилизатора. Правильная сборка и использование гарантированно исправного интегрального стабилизатора LM 723 обеспечит нормальное функционирование источника питания при первом же включении. Если у вас возникнет необходимость вручную изменять уровень выходного напряжения, то вместо последовательно соединенных резисторов *R1*, *R2* нужно будет включить между выводами *6* и «Земля» потенциометр, средний вывод которого следует соединить с выводом *5*.

№ 42. Прецизионный источник питания с повышенным напряжением

Используя несколько иное включение интегрального стабилизатора LM723, можно получить источник питания с выходным напряжением, значение которого изменяется от 7 до 37 В в зависимости от параметров внешних резисторов. Такой источник показан на рис. 5.78. Он рассчитан на выходное напряжение 15 В. Поэтому здесь используется трансформатор с действующим значением напряжения вторичной обмотки 18 В. По сравнению с предыдущей схемой может быть уменьшена емкость конденсатора фильтра до 6000 мкФ. Относительно сопротивления R_{sc} справедливы те же замечания. Отличия состоят в схеме соединения выводов стабилизатора LM723. Между выводом *3* и общей точкой («Землей») включен резистивный делитель напряжения *R1*, *R2*, со средней точкой которого соединен вывод *4* — инвертирующий вход усилителя стабилизатора. Выходное напряжение в этом случае определяется из формулы $U_{вых} = U_{оп}(1+R1/R2)$. При выходном напряжении 15 В сопротивления резисторов имеют следующие значения: $R1 = 7{,}87$ кОм (5 %), $R2 = 7{,}15$ кОм (5 %). Сопротивление

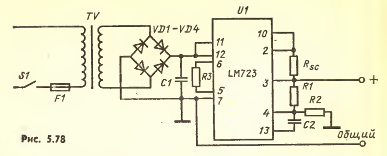


Рис. 5.78

резистора *R3* определяется параллельным соединением *R1* и *R2*, т. е. $R3 = R1R2/(R1+R2)$.

№ 43. Увеличение выходной мощности прецизионного стабилизатора

В схеме источника питания, показанной на рис. 5.79, преодолено присущее интегральному стабилизатору LM723 ограничение уровня выходного тока. Это достигнуто с по-

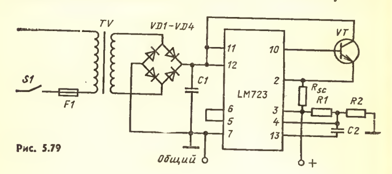


Рис. 5.79

мощью внешнего *n-p-n* транзистора *VT* типа 2N3997. Компоненты источника имеют следующие параметры: конденсатор *C1* — 10 000 мкФ, 35 В; диоды *VD1*—*VD4* — 50 В, 3 А; предохранитель *F1* — 1 А; резисторы *R1*=4,87 кОм (5 %), *R2*=7,15 кОм (5 %), R_{sc}=0,22 Ом. Выходное напряжение источника питания равно 12 В при токе 1 А. Поэтому действующее значение напряжения на вторичной обмотке трансформатора составляет 12,6 В, а выпрямленное напряжение на конденсаторе фильтра *C1* равно 16 В.

Выходное напряжение снимается между выводом *3* интегрального стабилизатора LM723 и общей точкой («Зем-

лей») схемы. Резистор R_{sc} служит для установки максимального выходного тока источника питания. Выводы *5* и *6* здесь соединены между собой, хотя для повышения точности между ними можно включить резистор, сопротивление которого, как и в предыдущем случае, должно быть равно параллельному сопротивлению резисторов *R1* и *R2*, т. е. $R3=R1R2/(R1+R2)$. Транзистор *VT* необходимо снабдить соответствующим радиатором.

В отличие от источников питания, в которых используются трехвыводные стабилизаторы с внешними силовыми транзисторами, рассмотренный источник является более универсальным, так как позволяет регулировать в широких пределах значение выходного напряжения. Это достигается заменой резисторов *R1* и *R2* потенциометром, средняя точка которого в этом случае должна быть соединена с выводом *4*. Значение входного нестабилизированного напряжения на 3—4 В должно пребышать максимальное выходное.

№ 44. Импульсный стабилизатор постоянного напряжения

В гл. 4 мы уже говорили об источниках питания с импульсным способом регулирования. В таких источниках регулирующий элемент работает в ключевом режиме, который характеризуется меньшими потерями мощности. Кроме того, в импульсных стабилизаторах используются индуктивные и емкостные накопители энергии, предназначенные для преобразования входного постоянного нестабилизированного напряжения в требуемый нагрузкой уровень. Импульсные стабилизаторы обладают лучшими энергетическими характеристиками и меньшими габаритными размерами по сравнению с линейными стабилизаторами, хотя и имеют больший уровень помех.

Интегральный стабилизатор LM723 можно использовать в качестве схемы управления ключевыми элементами импульсных стабилизаторов, обеспечив соответствующее соединение выводов и ряд внешних компонентов. Схема импульсного стабилизатора с выходным напряжением 5 В и током нагрузки 2 А представлена на рис. 5.80. Она содержит конденсатор фильтра *C1* — 10 000 мкФ, 35 В; времязадающий конденсатор $C2=0{,}1$ мкФ; выпрямительные диоды *VD1*—*VD4* — 50 В, 4 А; импульсный силовой диод *VD5* (1N4005); дроссель фильтра *L1* с индуктивностью 1,2 мГн; транзисторы *VT1* (2N5005), *VT2* (2N5153); резисторы

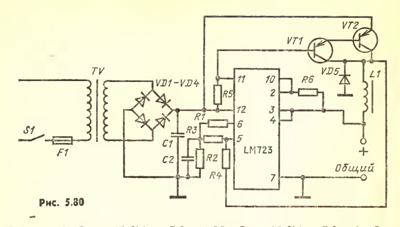


Рис. 5.80

$R1$=2,15 кОм (5 %), $R2$=4,99 кОм (5 %), $R3$=1 кОм; $R4$=1 МОм, $R5$=3 кОм, $R6$=51 Ом; предохранитель $F1$ — 1 А. Выходное напряжение трансформатора TV составляет 6,3 В при номинальном токе 5 А.

Нестабилизированное входное напряжение в источнике формируется двухполупериодным мостовым выпрямителем с емкостным фильтром. Транзисторы $VT1$ и $VT2$ (*p-n-p* типа) включены по схеме Дарлингтона и образуют ключевой регулирующий элемент стабилизатора. Управляющий вход регулирующего ключа (база транзистора $VT1$) соединяется с выводом *11* стабилизатора LM723, а выход ключа (коллекторы транзисторов $VT1$ и $VT2$) подключены к точке объединения диода $VD5$ и дросселя $L1$. Выходное напряжение снимается с противоположного вывода дросселя относительно общей точки («Земли»). При монтаже источника необходимо следить за совпадением монтажных соединений и приведенной принципиальной схемы.

ОГЛАВЛЕНИЕ


3р.